

22 412/H1/05



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR (KL.1702)

ANALISIS BEBAN HIDRODINAMIKA PADA STRUKTUR TENSION LEG PLATFORM (TLP) DENGAN PENDEKATAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)



R.Ske
627.98
Ira
9-1
2004

| PERPUSTAKAAN ITS | |
|---------------------|-----------|
| Tgl. Terima | 11-8-2004 |
| Terima Duri | H/ |
| No. Agenda Frp. | 220815 |

OLEH :

MOHAMAD DEDY IRAWAN
4300.100.015

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004

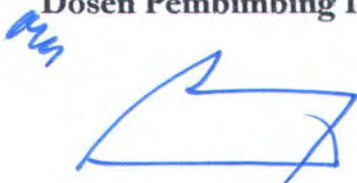
**ANALISIS BEBAN HIDRODINAMIKA PADA STRUKTUR
TENSION LEG PLATFORM (TLP) DENGAN PENDEKATAN
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

Mengetahui

Dosen Pembimbing I



Ir. Rudi.P Walujo, MT
NIP. 132 176 893

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Paulus Indiyono, MSc
NIP. 131 453 680

**SURABAYA
2004**



ABSTRAK

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Ya Tuhanku, masukkanlah aku secara masuk yang benar dan
keluarkanlah (pula) aku secara keluar yang benar dan berikanlah
kepadaku dari sisi Engkau kekuasaan yang menolong
(QS. Al Israa' ayat 80)

ABSTRAK

Pada konstruksi struktur bangunan lepas pantai yang dikenai beban gelombang, banyak fenomena yang terjadi dengan adanya beban fluida berupa gelombang yang mengenai struktur lepas pantai tersebut. Sebagai beban lingkungan paling dominan yang bekerja pada bagian platform (hull) struktur Tension Leg Platform (TLP), perhitungan beban gelombang harus dilakukan secara lebih akurat. Hal ini dapat dilakukan dengan mempertimbangkan efek interaksi antara kolom dan ponton dari platform TLP melalui model numerik yang cukup representatif. Adapun tugas akhir ini ditujukan secara spesifik untuk mengidentifikasi fenomena fluida yang mengenai platform sebagai *main structure* yang berhubungan dengan beban gelombang dan sebagai upaya untuk mendapatkan data berupa gaya gelombang maksimum yang mengenai platform dengan variasi dari sudut masuk datangnya fluida. Pemodelan struktur dan bebannya menggunakan software CFX-5.4.1 yang berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Untuk menyelesaikan pemodelan dalam tugas akhir ini digunakan Metode Finite Volume (FVM) untuk mencari bentuk model yang representatif dalam hal tinjauan proses *meshing* pada elemennya. Metode Finite Volume ini akan digunakan sebagai dasar menentukan bentuk *meshing* elemennya yang menggambarkan adanya suatu nilai tertentu dalam volume elemen yang terdiri dari 4 node per elemen seperti nilai kecepatan, gaya, dan lain-lain. Dan diketahui bahwasannya hasil gaya maksimum gelombang dari software meningkat secara periodik seiring dengan meningkatnya nilai Keulegan Carpenter (KC), begitu juga dengan perhitungan secara teoritis sehingga trend grafik yang terjadi antara hasil software dengan perhitungan teoritis hampir sama. Tingkat kesalahan yang ada antara perhitungan gaya maksimum secara software dan teoritis pada arah sudut datang 0° dan 90° berkisar antara 1.79-16.6 %, sedangkan untuk arah sudut datang 45° berkisar antara 17.78-36.92 %.



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Berkata Musa; “ Ya Tuhanku, lapangkanlah untukku dadaku, dan mudahkanlah untukku urusanku, dan lepaskanlah kekakuan dari lidahku (QS. Thaaliaa ayat 25-27)

KATA PEGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

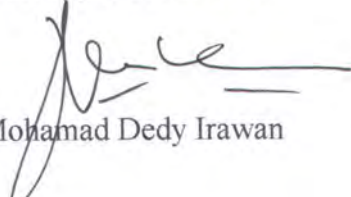
Puji syukur kehadiran Allah swt, hanya berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata-1 (S1) yang berjudul **“ANALISIS BEBAN HIDRODINAMIKA PADA STRUKTUR TENSION LEG PLATFORM (TLP) DENGAN PENDEKATAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

Harapan dari penulis, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi civitas akademika Teknik Kelautan pada khususnya dan ITS pada umumnya. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini jauh dari kesempurnaan dan banyak kekurangannya, sehingga penulis berharap masukan-masukan, kritik serta saran yang bersifat membangun yang nantinya akan bermanfaat bagi kesempurnaan dan pengembangan lebih lanjut.

Akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, bangsa, negara, dan yang terpenting agama. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 28 Juli 2004



Mohamad Dedy Irawan

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian tugas akhir ini, penulis tidak lepas dari dorongan dan bantuan dari pihak-pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan bantuannya baik itu secara moral maupun fisik. Untuk itu penulis mengucapkan Jazakallah Khoiron Katsiro kepada pihak-pihak sebagai berikut :

1. Kedua Orang Tua penulis, Bapak Sudiono dan Ibu Tatiek Eliana atas segala do'a, kasih sayang, perhatian, dan dorongan dari segala segi yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studi.
2. Kakak-kakak penulis, mbak Yuli, mas Heri dan mas Tomi yang telah banyak memberikan kritikan dan saran yang sangat berguna meskipun tidak dapat menemani penulis.
3. Adik penulis, dik Tiok yang selalu main bilyard
4. Bapak Ir. Imam Rochani, MSc, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.
5. Bapak Dr. Ir. Handyanu, MSc, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS
6. Bapak Ir. Rudi Walujo , MT, selaku Dosen Pembimbing I atas segala bantuan dan bimbingan yang telah diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Ir. Paulus Indiyono, MSc, PhD, selaku Dosen pembimbing II atas segala bantuan dan bimbingannya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Bapak Ir. Mas Murtedjo, M.Eng, selaku Dosen Wali.
9. Bapak Ir J. J. Soedjono, MSc, selaku Dosen konsultasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

10. Bapak Irfan Syarif, ST, MT. selaku Dosen pembimbing dalam mempelajari software CFX - 5.4.1.
11. Bapak-bapak Dosen beserta seluruh staf Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS yang tidak bisa dituliskan penulis satu persatu atas ilmu yang telah diberikan selama penulis melaksanakan studi.
12. Teman-teman main Software CFX di Pasca sarjana, Kevin, Dadang, Mas Adi, Mas Sis, Mas Berdi, Pak Hasan dan Pak Bekti.
13. OE Boys '00, Susi, Kusuma, Dwi prianto, Afandy, Catur - Black, Cukong, Fajar, Aan, Reza, Randi, Jazil, Alif, Aries, Handi, Fachul, Arifin, Sofyan Mudji, Bambang, Jaelani, Achamd sofyan, Dodon, Lister, Oscar, Erfan, Syam, Estu, , Soni, Eko teman TRB 3, Joko, atas kebersamaannya selama 4 tahun perkuliahan.
14. OE Girls '00, Rury, Pras, Sita, Devi, Santy, dan Maulidyah, Mila, Yayuk, Indahyu, Winda (semoga cepat dapat lulus
15. OE '98 Mas Wiyono dan Mas Lucky yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
16. Teman-teman '99, Mas Imam, Amien, Mak Aline.
17. Special thanks untuk Niken andriani yang menemaniku selama 3 tahun dalam suka maupun duka.
18. Dan untuk semua civitas Teknik Kelautan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas dorongan, bantuan dan dukungannya.
Semoga Allah SWT Menjadikan semuanya bermanfaat, Amin.

Surabaya, 28 Juli 2004

Penulis



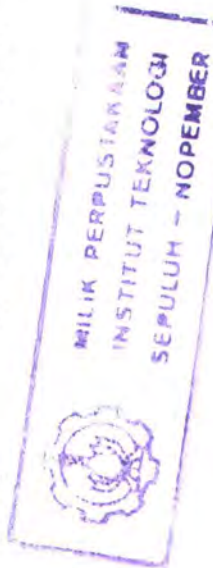
DAFTAR ISI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan (QS. Thaaliaa' ayat 114)

DAFTAR ISI

| | hal |
|--|-----|
| SAMPUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| ABSTRAK | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan | 2 |
| 1.4. Manfaat | 3 |
| 1.5. Batasan Masalah | 3 |
| 1.6. Metodologi | 4 |
| 1.7. Sistematika Penulisan Tugas Akhir | 5 |
| BAB II DASAR TEORI | |
| 2.1. Struktur Tension Leg Platform | 7 |
| 2.2. Desain Platform (Kolom Dan Ponton) | 9 |
| 2.3. Analisa Fluida Yang Melewati silinder Tegak | 9 |
| 2.4. Gaya-Gaya Hidrodinamis Pada Silinder Tegak | 13 |
| 2.4.1. Gaya Drag (Drag Force) | 13 |
| 2.4.2. Gaya Inersia (Inersia Force) | 14 |
| 2.4.3. Gaya Angkat (Lift Force) | 14 |
| 2.5. Teori Gelombang Dan Beban Gelombang Pada Silinder Tegak | |
| 2.5.1. Teori Gelombang | 15 |
| 2.5.2. Gaya Gelombang Pada Silinder Tegak | 18 |
| 2.6. Rumusan Dasar Pemodelan Peristiwa Aliran | 21 |
| 2.7. Persamaan Dasar Aliran Fluida | 25 |
| 2.8. Persamaan Navier Stokes Untuk Fluida Newtonian | 28 |



| | |
|---|----|
| 2.9. Teori Computational Fluid Dynamics (CFD) | 30 |
| 2.9.1. Pre-Processor | 30 |
| 2.9.2. Solver | 31 |
| 2.9.3. Post-Processor | 33 |
| 2.10. Model Matematika Dan Algoritma Solusi CFX 5.4.1 | 35 |
| 2.10.1. Persamaan Governing | 35 |
| 2.10.2. Tahap Validasi Dalam CFX 5.4.1 | 49 |
| BAB III METODE PENELITIAN | |
| 3.1. Urutan Pengerjaan | 50 |
| 3.2. Langkah Pemodelan | 51 |
| 3.2.1. Pemodelan Geometri Platform | 52 |
| 3.2.1.1. Pemodelan Platform Sudut Datang Gelombang 0°, 45° dan 90° | 52 |
| 3.2.2. Penentuan Fluid Domain | 54 |
| 3.2.3. Penentuan Boundary Condition | 54 |
| 3.2.4. Penentuan Initial Condition | 57 |
| 3.2.5. Meshing Geometri | 57 |
| 3.2.6. Solver Manager | 62 |
| 3.2.7. Defintion File | 62 |
| 3.3. Analisa Hasil | 64 |
| BAB IV. ANALISA PEMODELAN DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1. Validasi Geometri Model | 69 |
| 4.1.1. Convergence | 69 |
| 4.1.2. Grid Independence | 71 |
| 4.2. Analisa Data | 76 |
| 4.3. Analisa Sifat Fluida Di Sekitar Platform | 81 |
| 4.3.1. Density | 81 |
| 4.3.2. Eddy Viscosity | 82 |
| 4.3.3. Tekanan (Pressure) | 82 |

| | |
|---|----|
| 4.3.4. Gradien Tekanan (Pressure Gradient) | 82 |
| 4.3.5. Tekanan Total (Total Pressure) | 82 |
| 4.3.6. Kecepatan (Velocity) | 83 |
| 4.4. Analisa Grafis | 83 |
| 4.4.1. Arah Sudut Datang 0 ° dan 90° | 84 |
| 4.4.2. Arah Sudut Datang 45° | 88 |
| 4.5. Pembahasan | 91 |
| 4.5.1. Arah Sudut Datang 0° dan 90° | 91 |
| 4.5.1.a. Gaya Maksimum Secara Software Vs KC | 91 |
| 4.5.1.b. Gaya maksimum Secara Teoritis Vs KC | 92 |
| 4.5.1.c. Perbandingan Gaya Maksimum Secara Software dan Teoritis Vs KC | 93 |
| 4.5.2. Arah Sudut Datang 45° | 94 |
| 4.5.2.a. Gaya Maksimum Secara Software Vs KC | 94 |
| 4.5.2.b. Gaya maksimum Secara Teoritis Vs KC | 94 |
| 4.5.2.c. Perbandingan Gaya Maksimum Secara Software dan Teoritis Vs KC | 95 |
| BAB V KESIMPULAN | |
| 5.1. Kesimpulan | 96 |
| 5.2. Saran | 98 |

DAFTAR PUSTAKA

Lampiran



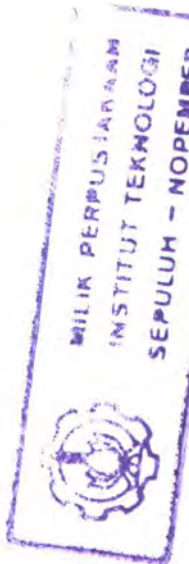
DAFTAR GAMBAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Sesungguhnya seburuk-buruk, binatang melata dalam pandangan Allah ialah orang-orang yang pekak dan tuli yang tidak mau menggunakan akalanya.
(QS. Al-Anfal ayat 22)

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. Flow Regimes | 12 |
| Gambar 2.2. Kondisi Batas dan Sketsa Gelombang Linier | 16 |
| Gambar 2.3. Grafik Region Of validity (API RP2A WSD, 1993) | 18 |
| Gambar 2.4. Distribusi Gaya Gelombang Pada Struktur Tegak | 20 |
| Gambar 2.5. Aliran Massa Pada Elemen Fluida Incompressible | 25 |
| Gambar 2.6. Komponen Tegangan Pada Arah Sumbu x | 27 |
| Gambar 2.7. Arah Perhitungan Tekanan dan temperatur Dari Titikj Satu Ke Titik 2 | 37 |
| Gambar 3.1. Geometri Platform Dengan Sudut Datang 0° dan 90° | 53 |
| Gambar 3.2. Geometri Platform Dengan Sudut Datang 45° | 54 |
| Gambar 3.3. Cara Menentukan Boundary Condition | 55 |
| Gambar 3.4. Geometri Platform Pemodelan Secara Universal | 55 |
| Gambar 3.5. Struktur Inflated Volume Mesh | 60 |
| Gambar 3.6. Empat (4) Bentuk Mesh Control | 61 |
| Gambar 3.7. Grafik Konvergensi Normal | 62 |
| Gambar 3.8. Grafik Konvergensi Cepat | 63 |
| Gambar 3.9. Grafik Konvergensi Salah | 63 |
| Gambar 3.10. Flowchart Metode Penelitian | 67 |
| Gambar 4.1.a. Grafik RMS Residual (Momentum dan Massa) | 70 |
| Gambar 4.1.b. Garfik Model Turbulensi k- ϵ | 70 |
| Gambar 4.2.a. Grafik Pressure Vs Mesh Size Pada KC 5, arah 0° dan 90° | 72 |
| Gambar 4.2.b. Grafik Pressure Vs Mesh Size Pada KC 5, arah 45° | 73 |
| Gambar 4.3. Inflation layer interstitial dan Inflation Gap | 74 |
| Gambar 4.4.a. Meshing Rapat Ditengah Domain (2 D) | 75 |
| Gambar 4.4.b. Meshing Besar Ditengah Domain (2 D) | 75 |
| Gambar 4.5.a. Contoh Visualisasi Kecepatan Dengan Background Vektor | 78 |
| Gambar 4.5.b. Contoh Visualisasi Kecepatan Dengan Background Streamlne | 78 |
| Gambar 4.5.c. Contoh Visualisasi Kecepatan Dengan Background Surface | 79 |



| | |
|--|----|
| Gambar 4.6.a. Fenomena Aliran Platform Dengan Cell Banyak- Surface Edge Length = 0.6 | 80 |
| Gambar 4.6.b. Fenomena Aliran Platform Dengan Cell Sedikit- Surface Edge Length = 2.5 | 80 |
| Gambar 4.7.a. Grafik Gaya Maksimum Software Vs KC Untuk Arah 0° dan 90° | 86 |
| Gambar 4.7.b. Grafik Gaya Maksimum Teoritis Vs KC Untuk Arah 0° dan 90° | 87 |
| Gambar 4.7.c. Grafik Perbandingan Software dan Teoritis Vs KC Untuk Arah 0° dan 90° | 87 |
| Gambar 4.8.a. Grafik Gaya Maksimum Software Vs KC Untuk Arah 45° | 90 |
| Gambar 4.8.b. Grafik Gaya Maksimum Teoritis Vs Kc Untuk Arah 45° | 90 |
| Gambar 4.8.c. Grafik Perbandingan Software dan Teoritis Vs Kc Untuk Arah 45° | 91 |



DAFTAR TABEL

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Wahai orang-orang yang beriman, jadilah kamu orang yang benar-benar penegak keadilan, menjadi saksi karena Allah biarpun terhadap dirimu sendiri atau ibu bapa dan kaum kerabatmu (QS. An Nisaa' ayat 135)

DAFTAR TABEL

| | hal |
|--|-----|
| Tabel 3.1. Variasi KC dan Kecepatan Pada kondisi Operasional | 53 |
| Tabel 3.2. Identifikasi Boundary Condition Pada Model Platform | 56 |
| Tabel 4.1. Data Export, Locator, Variabel. Dan Write Vector | 76 |
| Tabel 4.2.a. KC 5 | 82 |
| Tabel 4.2.b. KC 10 | 82 |
| Tabel 4.2.c. KC 15 | 85 |
| Tabel 4.2.d. KC 20 | 85 |
| Tabel 4.2.e. KC 25 | 85 |
| Tabel 4.2.f. KC 30 | 86 |
| Tabel 4.3.a. KC 5 | 88 |
| Tabel 4.3.b. KC 10 | 88 |
| Tabel 4.3.c. KC 15 | 88 |
| Tabel 4.3.d. KC 20 | 89 |
| Tabel 4.3.e. KC 25 | 89 |
| Tabel 4.3.f. KC 30 | 89 |



BAB I PENDAHULUAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanku Yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah yang Paling Pemurah. Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan kalam, Dia mengajar manusia apa yang tidak diketahuinya (Q.S. Al Alaq ayat 1 – 5)



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Konstruksi bangunan lepas pantai sangatlah kompleks, sehingga dalam merancang model bangunan lepas pantai sehingga diperlukan kecermatan dalam proses perencanaan dan perhitungannya. Pada konstruksi bangunan lepas pantai seperti Semisubmersible, Tension Leg Platform, Jacket Platform, Risers, Floating Tubular Structure, Pressure Vessel ataupun Cooling Towers pada umumnya menggunakan konstruksi dari berbagai macam tubular yang berbentuk silinder yang cukup rumit untuk dianalisa dalam hal perilaku gaya distribusi tekanan yang berlaku pada silinder-silinder tersebut. Hal ini mengakibatkan banyak sekali cara yang bisa dilakukan untuk menghitung gaya maksimum yang mengenai bangunan lepas pantai misalnya TLP. Salah satunya dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Dalam perhitungan dengan pendekatan CFD, struktur TLP yang terdiri dari kolom dan ponton dalam analisa disini sangat penting, sebab interaksi struktur pada TLP baik itu kolom maupun ponton saling memberikan pengaruh satu sama yang lain. Hal itu berpengaruh dengan besarnya nilai beban maksimum yang terjadi pada TLP.

Pada umumnya konstruksi-konstruksi ini pada lautan lepas yang mempunyai banyak variasi efek kerusakan terhadapnya. Pengaruh beban lingkungan ini akan sangat mempengaruhi kestabilan sistem konstruksi ini. Beban lingkungan akan memberikan pengaruh-pengaruh ataupun gaya-gaya hidrodinamis pada sistem konstruksi tersebut. Pengaruh beban lingkungan yang



dimaksud adalah beban gelombang, arus dan angin. Fenomena pengaruh gelombang pada sebuah silinder tegak (kolom) berbeda dengan fenomena yang terjadi pada silinder horisontal. Dalam hal ini beban gelombang yang mengenai silinder tegak akan menyebabkan aliran di belakang silinder sehingga bisa menimbulkan vortex shedding, yang pada akhirnya dapat menimbulkan tekanan hidrostatik secara periodik pada bagian belakang silinder. Untuk struktur yang lentur, hal ini akan menyebabkan terjadinya *inline excitation* yang berhubungan dengan gaya drag dan gaya inersia serta *tranverse excitation* yang berhubungan dengan gaya lift.

Pemodelan numerik dengan software CFX 5.4.1, yang berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) diharapkan akan menghasilkan model platform TLP yang cukup representatif dan pola aliran fluida yang mengenai struktur platform TLP (kolom dan ponton) terutama yang disebabkan oleh adanya beban gelombang. Konsep ini ini dilakukan dengan membuat model platform TLP yang representatif terlebih dahulu, kemudian dari model representatif tersebut dapat diketahui pola aliran fluida disekitar platform TLP akibat gelombang yang mengenai struktur platform TLP tersebut. Setelah itu dapat menghitung besarnya gaya gelombang yang mengenai platform TLP

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa hal sebagai berikut :

1. Bagaimana model numerik dari platform TLP yang representatif ?
2. Bagaimana karekteristik aliran fluida (kecepatan, tekanan dan lain-lain) pada platform TLP terhadap beban gelombang ?



3. Berapa besarnya gaya gelombang yang mengenai struktur platform TLP yang terjadi ?

1.3. Tujuan

Berdasarkan pada permasalahan yang ada, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mendapatkan model numerik dari platform yng cukup representatif
2. Untuk mendapatkan karakteristik fenomena aliran fluida pada platform TLP akibat beban gelombang yang mengenai struktur TLP tersebut.
3. Untuk mendapatkan besarnya gaya gelombang yang mengenai struktur TLP terutama pada bagian platform TLP.

1.4. Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari studi ini adalah :

1. Memberikan masukan data dari model dengan beberapa variasi efek dari platform TLP yang dikenai beban gelombang.
2. Memberikan masukan mengenai karakteristik pola aliran fluida platform TLP apabila dikenai beban gelombang.
3. Mengetahui besarnya gaya gelombang yang mengenai struktur TLP terutama bagian platform TLP selama kurun waktu tertentu.

1.5. Batasan masalah

Untuk memfokuskan cakupan analisa dan pencapaian tujuan dari studi ini, maka dalam studi ini dalam penyelesaian masalah diberikan batasan-batasan :



1. Struktur bagian atas TLP dalam kondisi kesetimbangan statisnya.
2. Analisa keseluruhan TLP menggunakan metode software CFX-5.4.1 yang berbasis CFD.
3. Beban hidrodinamika yang dianalisa adalah beban gelombang.
4. Arah sudut datang gelombang yang ditinjau adalah arah 0° , 45° dan 90° .
5. Untuk melihat pola aliran, memang harus ada interaksi antar struktur TLP (kolom dan ponton).

1.6. Metodologi dan Model Analisis

Pada awalnya, studi literatur akan memberikan kejelasan dan pemahaman dalam menentukan ukuran dari dimensi platform (kolom + ponton) TLP West Seno UNOCAL dan sudut datang aliran gelombang termasuk gaya – gaya hidrodinamis yang bekerja pada platform dan pemahaman mengenai teori gelombang, kecepatan dan percepatan partikel air. Dalam hal ini studi mengenai pemodelan platform TLP dengan menggunakan software CFX 5.4.1. dilakukan terlebih dahulu bentuk dari platform (kolom + ponton) yang akan dianalisa. Dimensi dan properties platform TLP yang akan digunakan berasal dari TLP West Seno UNOCAL yang dalam pemodelan nanti akan dikenai beban gelombang dalam tiga arah yakni 0° , 45° dan 90° .

Selanjutnya dalam pemodelan nanti akan dimasukkan variabel – variabel dalam pemodelan seperti properties dan dimensi platform TLP yakni panjang dan kolom dan pontoon, variasi sudut datang gelombang, dan variabel kecepatan dan percepatan partikel air. Setelah dimasukkan data - data kecepatan horisontal partikel air dalam software CFX-5.4.1 adalah dapat diketahui bentuk dari platform (kolom dan ponton) TLP yang akan dianalisa dengan software CFX-Builds



untuk mengetahui bentuk meshing elemennya yang cocok sehingga bisa menjadi model yang cukup representatif dari platform. Dan selanjutnya akan diketahui beban gelombang maksimum yang akan mengenai platform TLP melalui besarnya tekanan maksimum yang mengenai platform. Selanjutnya model dari software CFX-Builds ini akan ditransfer dalam bentuk file * **.DB** ke software CFX- Solver untuk dilakukan perunningan. Selanjutnya masuk ke software CFX – Visualise yang akan mengetahui hasil dari pemodelan yang telah dilakukan yakni dapat mengetahui pola aliran fluida pada platform TLP serta dapat dilakukan modifikasi model untuk mencapai hasil yang bagus.

I.7. Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Penulisan Tugas Akhir ini secara sistematika akan mengikuti urutan sebagai berikut ini yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Diuraikan mengenai latar belakang permasalahan dari dasar pemikiran yang melandasi penulisan tugas akhir ini, mengenai perumusan masalah, tujuan dan manfaat yang hendak dicapai, batasan permasalahan dalam pemodelan serta sistematika penulisan laopran.

BAB II DASAR TEORI

Diuraikan mengenai karekteristik dari Tension Leg Platform (TLP), pemilihan teori gelombang yang akan digunakan, karekteristik aliran yang mengenai platform, fenomena aliran yang melewati platform, serta penentuan parameter gelombang. Juga akan diuraikan sedikit mengenai teori dasar pemodelan dengan menggunakan software CFX-5.4.1. yang berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD).



BAB III METODOLOGI PEMODELAN

Pemodelan yang akan dilakukan dengan menggunakan software CFX-5.4.1 akan diuraikan dalam bab ini yang meliputi pemodelan bentuk dari platform (kolom dan ponton) yang akan dikenai beban gelombang dalam tiga arah 0° , 45° dan 90° dalam CFX-Builds, meshing elemen dari platform, serta proses analisa fenomena pola aliran fluida dalam CFX-Visualise.

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai analisa hasil pemodelan dengan software CFX-5.4.1 mengenai fenomena hasil dari pemodelan serta dilakukan verifikasi perhitungan gaya gelombang maksimum secara software dengan teoritis.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari analisa hasil pemodelan yang telah dilakukan dan saran-saran untuk menyempurnakan bentuk pemodelan berikutnya.



BAB II DASAR TEORI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Katakanlah : kalau sekiranya lautan menjadi tinta untuk (menulis) kalimat-kalimat Tuhanku, sungguh habislah lautan itu sebelum habis (ditulis) kalimat-kalimat Tuhanku, meskipun Kami datangkan tambahan sebanyak itu (pula).
(Q.S. Al – Kalifi ayat 109)



BAB II

DASAR TEORI

2.1 Struktur TLP

Tension leg platform merupakan salah satu tipe anjungan struktur lentur (compliant platform) untuk perairan dalam lebih dari 500 m. Tipe anjungan ini memanfaatkan gaya apung yang terbenam untuk menahan *payload* yang bekerja pada struktur tersebut. Prinsip perencanaan umum anjungan struktur lentur adalah mendapatkan solusi optimal terhadap persyaratan-persyaratan fungsi-fungsi tersebut. (Patel, 1995). *Station keeping* merupakan salah satu pertimbangan yang dianggap cukup penting dalam perencanaan anjungan struktur lentur. Sehingga dalam merancang struktur anjungan lentur perlu mempertimbangkan sistem penambatan yang mampu menjaga struktur tersebut agar selalu ada dalam lokasi serta batas-batas yang telah ditentukan.

Penelitian pertama kali terhadap struktur TLP dilakukan oleh Paulling dan Horton (1970) dengan menguji model dan membandingkan hasil-hasil yang diperoleh dengan kajian secara teoritis. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya perubahan amplitudo tinggi gelombang yang bersifat nonlinier, sedangkan pola surge bersifat linier. Teori gelombang yang digunakan pada penelitian ini adalah teori gelombang linier (Airy), dengan menganggap struktur TLP merupakan gabungan bentuk-bentuk sederhana dengan sifat-sifat hidrodinamis yang sudah diketahui. Sehingga gaya-gaya yang bekerja pada struktur tersebut merupakan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada setiap komponen struktur



tersebut. Asumsi yang digunakan pada pengkajian teori menganggap perilaku dinamis platform linier. (Arifin, 2000).

Pertama kali tension leg platform diinstal diladang minyak Hutton, Laut Utara pada tahun 1985 oleh Conoco. Evaluasi terhadap kinerja TLP Hutton memberikan hasil yang menggembirakan sehingga Conoco mengembangkan konsep TLP yang akan dioperasikan di Teluk Meksiko yang memiliki kondisi lingkungan dan tingkat produksi yang berbeda. Perencanaan TLP terus mengalami penyempurnaan dari waktu ke waktu. Konsorsium yang terdiri dari beberapa perusahaan minyak dan gas telah melakukan penelitian yang menyeluruh untuk pertama kalinya di lepas pantai California terhadap struktur TLP. Dari hasil penelitian tersebut para ahli menyakini bahwa konsep TLP dapat dipergunakan untuk kedalaman laut hingga 610 m (Arifin, 2000).

Lingkungan, dimana TLP akan beroperasi merupakan faktor pertama yang perlu dilihat untuk menentukan apakah desain TLP yang telah dibuat cukup kuat terhadap beban lingkungan. Beban yang cukup besar yang berpengaruh terhadap kekuatan struktur ialah beban gelombang. Karena TLP termasuk *compliant* struktur dan dinamis alami maka dalam kriteria TLP memerlukan perhitungan yang lebih detail. Terdapat perbedaan dalam kegiatan perancangan yang menghasilkan respon terbesar pada beberapa bagian struktur yang berbeda. Sebagai catatan bahwa respon terbesar TLP tidak mesti dihasilkan pada kondisi tinggi gelombang ekstrim.

Kondisi lingkungan harus mencakup kondisi normal dan ekstrim. Kondisi lingkungan normal diperlukan baik ketika konstruksi maupun saat beroperasi, sedangkan kondisi ekstrim digunakan untuk memformulasikan beban.



Data lingkungan yang digunakan merupakan data perperiode, misalkan data 100 tahunan.

2.2. Desain Platform (Kolom dan Ponton)

Seperti yang telah dijelaskan diatas, dalam proses desain atau pemodelan secara numeris dari variasi pemodelan konstruksi platform dengan variasi sudut masuk pada bangunan lepas pantai dibutuhkan beberapa informasi mengenai kondisi lingkungan dan variabel-variabel dari material platform. Variabel platform disini meliputi kecepatan horisontal partikel air, tekanan fluida air laut , dimensi platform dan bentuk variasi pemodelan seperti pengaturan proses meshing pada platform.

Desain dalam pemodelan ini ditujukan pada pemodelan dengan model dalam bentuk platform yang disusun hingga berbentuk kolom dan ponton dengan variasi sudut datang untuk mengetahui bagaimana pola aliran yang terjadi dan pengaruhnya terhadap susunan model platform . Dalam hal ini resistansi dari aliran fluida yang mengenai kolom dan ponton dipengaruhi sangat kuat dengan adanya proses meshing yang ada pada platform. Respon pengaruh dari platform ini sangat tergantung pada model dan ukuran mesh. Pemodelan ini menggunakan data platform yang tertutup dengan variasi sudut datang gelombang 0° , 45° dan 90° .

2.3. Aliran Fluida Yang Melewati Silinder Tegak

Silinder tegak dalam hal ini platform (kolom dan ponton) yang berada pada perairan (tercelup air) secara umum mendapatkan gaya hidrodinamis dari aksi gelombang dipermukaan platform. Aliran gelombang ini



dimanifestasikan berupa aksi gaya-gaya dari fluida yang cenderung merusak pada permukaan platform. Pengaruh gelombang yang terjadi dalam semua bentuk dan ukuran, bergantung pada bentuk model didalam air. Di perairan lepas, gelombang yang terjadi jarang nampak seperti halnya gundukan gelombang tetapi gelombang ini memiliki arah gaya yang sama dan menyebar. Parameter yang penting untuk menggambarkan gelombang ini adalah panjang gelombangnya dan tinggi gelombang serta kedalaman perairan. Parameter yang lain seperti *wave induced*, kecepatan partikel fluida dan percepatan partikel air dapat diterminasikan secara teoritis berdasarkan rumusan yang ada.

Fenomena aliran pada konstruksi bangunan lepas pantai seperti tension leg platform yang merupakan konstruksi yang terdiri dari *steel tubular member* yang mempunyai dimensi yang relatif kecil dibandingkan adanya gaya gelombang yang mengenainya diperairan lepas adalah sangat beragam. Aliran yang terjadi yang berpengaruh terhadap respon platform bangunan lepas pantai (TLP) berupa aliran *steady uni-directional flow* (arus) dan *planar oscillatory flow* (gelombang). Sebagaimana aliran fluida yang melewati silinder tegak, akan terbentuk suatu lapisan batas (*boundary layer*) . Efek dari *boundary layer* ini terhadap aliran fluida merupakan hal yang penting, terutama berkenaan dengan resistansi gerakan (*drag*) dari body yang berhubungan langsung dengan fluida. Pada *uni- directional flow* yang bergerak disamping silinder, dihasilkan semacam pusaran dikenal sebagai “ **Karman Vortex Street** “.

Parameter umum yang biasanya dipakai pada aliran yang melewati silinder tegak adalah Reynold number (Re) dan Keulegan Carpenter number (KC). Parameter ini merupakan non-dimensional untuk aliran *steady* dan *unsteady flow*. Parameter-parameter tersebut dapat dituliskan pada persamaan :





$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (2.1)$$

dimana U merupakan undisturbed velocity, ν merupakan viskositas air laut.

$$KC = \frac{U_m T}{D} \quad (2.2)$$

dimana U_m merupakan kecepatan maksimum untuk *oscillatory flow*

Aliran *Oscillatory* yang terjadi pada suatu silinder hampir selalu pecah yang disebabkan oleh gerakan fluida kompleks dan hal ini tidak langsung dapat dipecahkan secara analisis. Satu hal penting untuk menggambarkan *wave-induced flows* adalah bahwa beberapa atau semua dari *vorticity* digenerasikan oleh silinder dan diubah menjadi pusaran yang menjalar dibelakang silinder pada *subsequent flow cycle*.

Sarpkaya (1976) dari Indiyono (1996) mengadakan eksperimen untuk mengukur gaya-gaya yang bekerja pada silinder di **U-Tube** dan **Wind Tunnel** yang mempunyai kapabilitas untuk *mengenerasikan planar oscillatory flow*. Pada eksperimen ini ditunjukkan bahwa aliran pada silinder adalah sensitif untuk pengubahan nilai Re dan KC. Pada eksperimen-eksperimen yang lain pun menunjukkan bahwa gaya-gaya yang dialami silinder tergantung pada perubahan *in the development* dan dipisahkan oleh *boundary layer*.

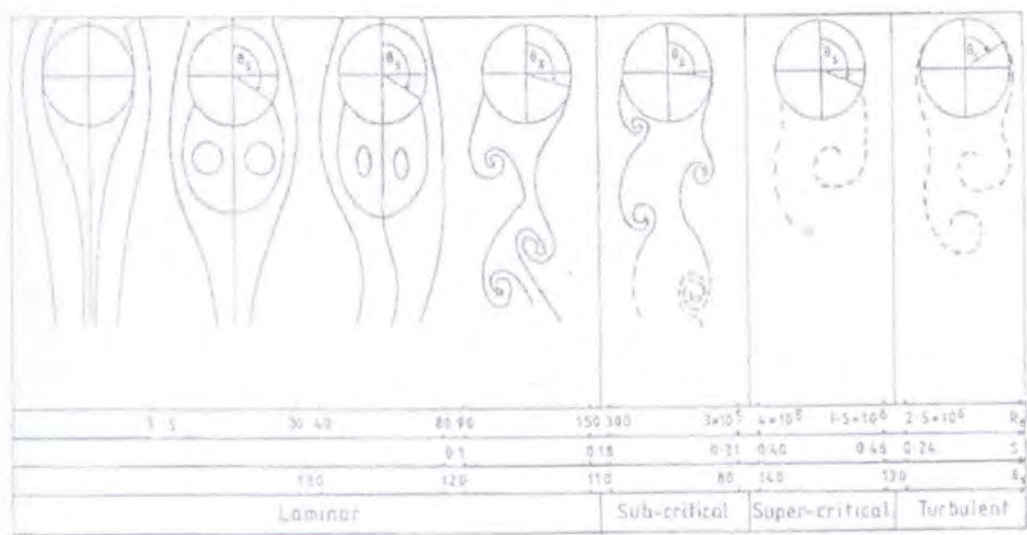
Penelitian mengenai *oscillatory flow* yang melewati suatu *body* merupakan hal penting pada industri offshore. Pada perairan terbuka, aliran *offshore structure* adalah kompleks dan bergantung pada orientasi relatif *body* terhadap gelombang. Pada *oscillatory flow* ditemukan bahwa getaran dari vortices dapat diklasifikasikan untuk nilai KC. Pada nilai KC antara 7 dan 15 sudah terbentuk jalur vortex dan antara 15 dan 24 terbentuk dua vortex dengan sudut masuk 45° . Pada KC antara 24 dan 32 dapat diketahui mengenai gambaran dari



gaya transversal atau *Lift Force*. Beberapa orang yang melakukan penelitian gaya yang bekerja pada silinder pada *harmonically oscillating flow* adalah **Bearman et. all** (1979, 1985, 1992), **Sarpkaya** (1975a, 1977, 1981, 1987), **Singh et.all** (1982) dari **Indiyono** (1996), peneliti melakukan peneltitian terhadap gaya pada silinder secara dua dimensional dengan kondisi *oscilating flow* untuk range KC dari 3 hingga 70. Pada *oscilatory flow*, garis-garis gaya pada silinder dapat disimpulkan dalam dua buah komponen gaya. Pertama adalah gaya oleh *fluid velocity* dan mengandung koefisien gaya drag. Kedua adalah gaya oleh *fluid acceleration* yang mengandung koefisien inersia force dan berhubungan dengan Froude Krylov dan massa tambah. Gaya ini adalah :

$$F = \frac{1}{2} \rho C_d . D . |U| . U + \rho . C_m . A . \left| \dot{U} \right| \tag{ 2.3 }$$

Dimana koefisien C_d dan C_m merupakan koefisien non – dimensional dan berpengaruh terhadap nilai drag dan *inersia force*.



Gambar 2.1. Flow regimes (Sumer, 1997)



2.4. Gaya-Gaya Hidrodinamis Pada Silinder Tegak

Gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada suatu konstruksi (platform) yang terbenam dalam air seperti gaya drag, inersia, dan angkat (*lift*), itu terjadi akibat adanya gerakan relatif atau interaksi antara konstruksi (platform) dengan fluida disekitarnya. Dengan adanya gerakan relatif atau interaksi itu, maka akan timbul kecepatan dan percepatan relatif partikel air.

Satu hal yang sangat penting dalam menghitung gaya-gaya hidrodinamis adalah menentukan koefisien masing-masing gaya tersebut yaitu koefisien drag (C_d), koefisien inersia (C_M) dan koefisien lift (C_L). Penentuan ketiga koefisien ini seringkali tergantung pada bilangan-bilangan tertentu yaitu bilangan Re dan KC. Disamping itu juga dipengaruhi oleh adanya parameter – parameter lain seperti :

$$\oplus \text{ Kekasaran permukaan silinder , } k = \frac{e}{D} \quad (2.4)$$

$$\oplus \text{ Jarak antara silinder dan bidang batas , } \frac{H}{D} \quad (2.5)$$

- Dimana :
- D : Diameter silinder / panjang kolom, m
 - H : Jarak silinder/ kolom dengan dasar laut, m
 - k : Tingkat kekasaran permukaan silinder/ kolom
 - e : Kecepatan efektif aliran, m/s

2.4.1. Gaya Drag (*Drag Force*)

Gaya drag yang bekerja pada suatu struktur platform (kolom dan ponton) dibawah permukaan laut persatuan panjang dapat dirumuskan sebagai berikut (Mousselli, 1981) :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_d D U e^2 \quad (2.6)$$



Dalam kondisi *steady*, koefisien drag (C_d) tergantung pada angka Reynold (*Reynold Number*) dan kekasaran permukaan konstruksi (*platform*). Meskipun nilai C_d digunakan untuk aliran *steady*, seringkali juga dapat dipakai untuk aliran *oscillatory*, dengan menggunakan kecepatan efektif yang diakibatkan oleh gelombang. Penentuan koefisien drag (C_d) pada aliran *oscillatory* yang dipengaruhi oleh gelombang tergantung pada *Reynold Number*, Kekasaran konstruksi dan juga angka *Keulegan Carpenter* (KC).

2.4.2. Gaya Inersia (*Inersia Force*)

Gaya inersia yang bekerja pada suatu struktur platform (kolom dan ponton) dibawah permukaan laut persatuan panjang dapat dirumuskan sebagai berikut (Mousselli, 1981) :

$$F_I = \rho \cdot C_M \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{dU}{dt} \quad (2.7)$$

Penentuan koefisien inersia (C_M) pada aliran *oscillatory* yang dipengaruhi oleh gelombang tergantung pada angka *Keulegan Carpenter* (KC) dan parameter frekuensi gelombang.

2.4.3. Gaya Angkat (*Lift Force*)

Gaya angkat yang bekerja pada suatu struktur platform dibawah permukaan laut persatuan panjang dapat dirumuskan sebagai berikut (Mousselli, 1981) :

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U e^2 \quad (2.8)$$

Variasi nilai koefisien *Lift* (C_L) yang merupakan fungsi dari angka Reynold



2.5. Teori Gelombang Dan Beban Gelombang Pada Silinder Tegak

2.5.1. Teori Gelombang

Banyak teori gelombang yang telah dikembangkan untuk diterapkan dalam kondisi-kondisi lingkungan tertentu, yang penurunannya tergantung pada parameter-parameter yang khusus bagi lingkungan tersebut seperti kedalaman air, tinggi dan periode gelombang. Teori gelombang yang dimaksud antara lain teori gelombang linier (Airy) dan teori gelombang Stokes orde dua, tiga dan lima. Teori gelombang linier yang disebut juga teori gelombang Airy dikembangkan oleh Airy (1842) dan Laplace (1816). Teori ini dalam penggunaannya mempunyai beberapa asumsi yaitu (Wilson, 1984) dari Saifudin (1999) :

1. Amplitudo gelombang (a_0) relatif kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang λ dan kedalaman perairan d .
2. Kedalaman perairan dianggap konstan
3. Fluida adalah incompressible dan homogen.
4. Fluida adalah inviscid dan irrotasional.
5. Tegangan permukaan diabaikan
6. Dasar perairan dianggap rata dan permeable / kedap.
7. Tekanan atmosfer pada permukaan air dianggap uniform.

Persamaan untuk gelombang linier memerlukan kondisi batas untuk penyelesaiannya. Adapun untuk kondisi batas yang dimaksudkan diatas adalah (Brebia, 1979) :

⊕ Kondisi Irrotasional :

$$\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad (2.9)$$



❖ Kondisi Kontinuitas :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad (2.10)$$

⊕ Persamaan Euler :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.11)$$

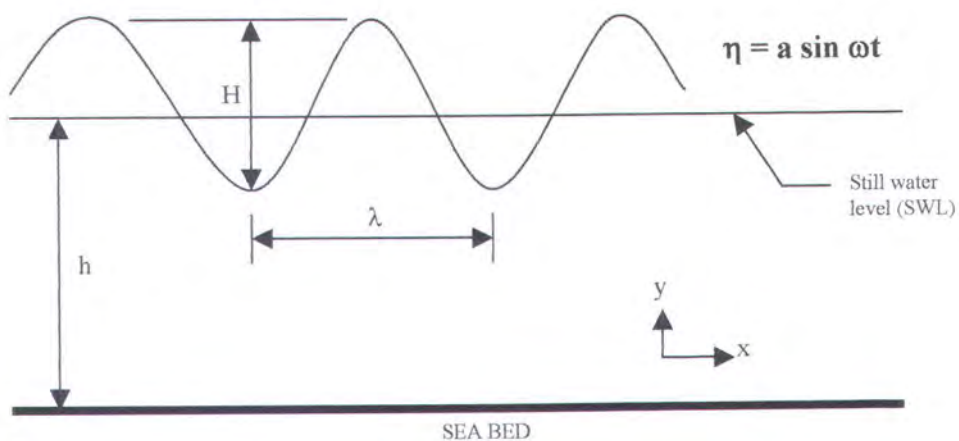
⊕ Kondisi batas permukaan air (SWL) :

$$W = \frac{\partial \eta}{\partial t}, \text{ pada } z = 0 \quad (2.12)$$

$$p = p_a$$

⊕ Kondisi batas dasar :

$$W = 0, \text{ pada } z = -d \quad (2.13)$$



Gambar 2.2
Kondisi Batas dan Sketsa Gelombang Linier (Chakrabarti, 1978)

Berdasarkan kondisi – kondisi batas diatas maka untuk persamaan gelombang liniernya sebagai berikut :

1. Elevasi gelombang (η)

$$\eta = a_0 \cos \theta \quad (2.14)$$



2. Kecepatan horizontal partikel gelombang (u)

$$u = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \cos \theta \quad (2.15)$$

3. Percepatan horizontal partikel gelombang (\dot{u})

$$w = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \sin \theta \quad (2.16)$$

4. Tekanan dinamis gelombang (p)

$$P = \rho \cdot g \cdot a_0 \cdot \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd} \cdot \cos \theta \quad (2.17)$$

5. Hubungan antara parameter – parameter gelombang

$$\omega^2 = g \cdot k \cdot \tanh kd \quad (2.18)$$

♦ Untuk *deep water* ($kd > \pi$) atau ($h/\lambda > 1/2$), maka $\omega^2 = g \cdot k$.

♦ Untuk *shallow water* ($kd < \pi$) atau ($h/\lambda < 1/2$), maka $\omega^2 = g \cdot h \cdot k^2$.

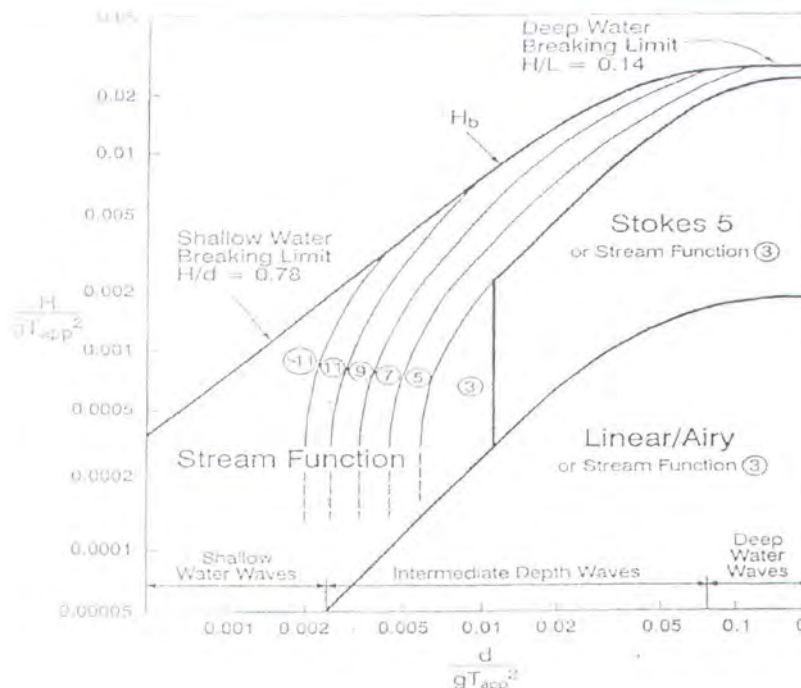
$$c = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} \longrightarrow \text{kecepatan gelombang}$$

$$c^2 = \frac{g}{k} \tanh kd$$

6. Kecepatan potensial

$$\phi = \frac{gH}{2\omega} e^{kz} \sin \theta \quad (2.19)$$

Dalam perhitungan beban gelombang, maka teori gelombang yang digunakan disesuaikan dengan grafik *validitas* teori gelombang. *Validitas* teori gelombang ini dikembangkan oleh R. G. Dean (1968) dan B. Le Mehaute (1970) (Chakrabarti, 1987) seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Grafik Region of Validity (API RP 2A WSD, 1993)

Diagram ini membagi daerah yang berlaku bagi masing-masing teori gelombang berdasarkan perbandingan H/gT^2 sebagai ordinat dan d/gT^2 sebagai absis. Penentuan teori gelombang ini berdasarkan pada data lingkungan struktur tersebut diinstalasi, seperti tinggi gelombang H (ft, m), kedalaman d (ft, m) dan periode gelombang T (detik). Teori gelombang yang dipakai dalam analisa tugas akhir ini adalah teori gelombang linier (Airy)

2.5.2. Gaya Gelombang Pada Silinder Tegak

Sarpkaya (1981) telah memberikan garis besar dalam menganalisa gaya gelombang pada suatu struktur. Untuk menghitung gaya gelombang dibutuhkan model dari kondisi gelombang yang didapat dari pencatatan data gelombang, arus dan angin dari lokasi yang direncanakan.

Gaya gelombang yang bekerja pada silinder tegak merupakan penjumlahan langsung dari gaya inersia dan gaya drag. Sedangkan gaya inersia merupakan penjumlahan antara gaya *froude-krylov* dengan gaya yang disebabkan



oleh massa tambah. Dalam perhitungan gaya gelombang bangunan lepas pantai maka persamaan Morrison sering dipakai (Chakrabarti, 1987). Untuk dapat memakai rumusan Morrison ini maka perlu lebih dahulu mengetahui batasan–batasan yang digunakan oleh Morrison dalam menghitung gaya yang ditimbulkan oleh gelombang. Secara lengkap syarat–syarat yang dimaksud adalah sebagai berikut:

$D/\lambda > 1$; pada kondisi ini gelombang mendekati pemantulan murni

$D/\lambda > 0.2$; pertambahan gaya gelombang oleh difraksi gelombang perlu diperhatikan

$D/\lambda < 0.2$; penggunaan rumus *Morrison* adalah valid

Persamaan yang diberikan oleh Morrison untuk perhitungan beban gelombang,

yaitu:
$$F_w = \int_0^z (F_d + F_i) dz$$
$$F_w = \int_0^z \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot D \cdot u |u| + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot C_m \cdot a_x \right) dz \quad (2.20)$$

dimana :

F_w = gaya gelombang per unit panjang

F_d = gaya *drag* per unit panjang

F_i = gaya inersia per unit panjang

D = diameter ekuivalen silinder

C_d = koefisien *drag*

C_m = koefisien inersia

ρ = massa jenis air laut

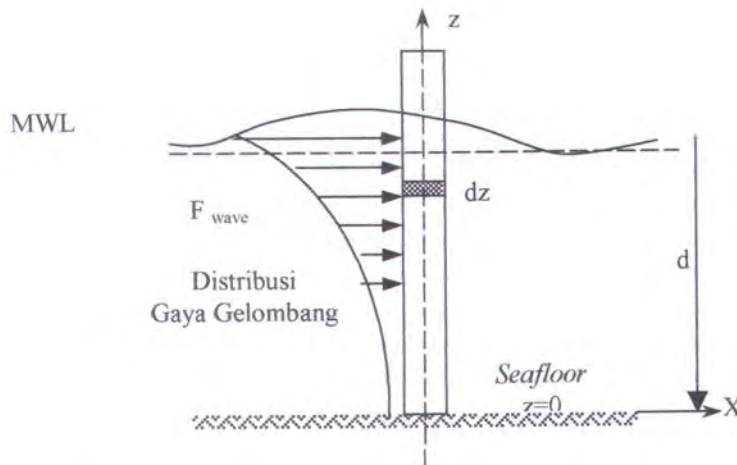
u = kecepatan horisontal partikel air laut

a_x = percepatan horisontal partikel air laut



Untuk me-*linear*-kan suku $u|u|$ pada persamaan Gaya *Drag* memakai formulasi sebagai berikut :

$$u|u| = \frac{8}{3 \cdot \pi} \cdot u^2 \quad (2.17)$$



Gambar 2.4. Distribusi Gaya Gelombang Pada Silinder Tegak (Dawson,T.H., 1976)

Gaya Gelombang merupakan komponen beban yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan struktur bangunan lepas pantai karena gaya gelombang merupakan gaya yang terus-menerus memberikan efek beban pada bangunan lepas pantai sehingga akan mempengaruhi kestabilan sistem konstruksi bangunan lepas pantai tersebut selama beroperasi. Beban ini memerlukan perhitungan yang cukup detail mengingat pengaruhnya yang cukup signifikan terhadap *reliability* struktur. Sehingga dalam perancangan struktur kita bisa dapatkan faktor *safety*, *performance*, dan *reliability* terhadap beban gelombang ini. Pendekatan beban gelombang pada sistem konstruksi bangunan lepas pantai dapat didekati dengan berbagai macam pendekatan, namun umumnya pendekatan yang dilakukan akan tergantung pada :



❖ Geometri Struktur

Pada umumnya geometri struktur pada sistem konstruksi bangunan lepas pantai yang terbenam air berupa silinder atau tubular, sehingga geometri struktur yang dimaksudkan dalam hal ini adalah bentuk dan diameter silindernya. Silinder disini bisa berupa silinder vertikal (kolom) maupun silinder horisontal (ponton) yang menerima beban lingkungan.

❖ Tinggi dan Panjang Gelombang

Tinggi dan panjang gelombang umumnya dinyatakan dalam bentuk perbandingan, yaitu antara tinggi gelombang dengan diameter struktur (T / D) dan perbandingan antara diameter dan panjang gelombang (D / λ).

2.6. Rumusan Dasar Pemodelan Peristiwa Aliran

Gambaran lengkap mengenai pembebanan fluida dari Indiyono (1996) diambil dari *Navier – Stokes* equation. Dalam hal ini merupakan sesuatu yang kompleks untuk dipraktikkan pada model gelombang untuk konteks yang sebenarnya. Oleh karena itu perlu adanya beberapa asumsi yang tepat mengenai fluida natural. Dalam hal ini, bahwa gaya viscous dari fluida diabaikan kecepatan angular dari fluida juga dianggap nol. Dalam kasus ini, kecepatan potensial ϕ yang ada berdasarkan *laplace equation* sebagai berikut :

$$\frac{\partial \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (2.21)$$

Untuk *incompressibel dan irrotational flow*, *complex potential* $W (z)$ didefinisikan sebagai kecepatan potensial ϕ dan *stream function* ψ , dimana keduanya ini merupakan complex plane yaitu :

$$W (z) = \phi (z) + I \psi (z) \quad (2.22)$$



Pada teori aliran potensial, model aliran yang kompleks dapat dikembangkan sebagai *linear superposition*. Sebagai contohnya adalah titik source atau sink dengan strength m dari kecepatan potensial dan stream function dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\phi = \frac{m}{2\pi} \ln r \quad (2.23)$$

$$\psi = \frac{m}{2\pi} \theta \quad (2.24)$$

Dimana r dan θ merupakan koordinat polar relative terhadap pusat dari source. Kombinasi dari kedua r dan θ adalah dapat membentuk *doublet strength*, μ .

$$\phi = \frac{\mu}{r} \cos \theta \quad (2.25)$$

$$\psi = \frac{\mu}{r} \sin \theta \quad (2.26)$$

Dan jika keduanya digabungkan dengan *uniform stream*, u_{∞} , maka :

$$\phi = u_{\infty} r \cos \theta \quad (2.27)$$

$$\psi = u_{\infty} r \sin \theta \quad (2.28)$$

Selanjutnya untuk *uniform flow* disekitar kolom dengan jarak a didapatkan

$$\phi = \left(r + \frac{a^2}{r} \right) u_{\infty} \cos \theta \quad (2.29)$$

$$\psi = \left(r - \frac{a^2}{r} \right) u_{\infty} \sin \theta \quad (2.30)$$

dimana u_{∞} merupakan *free stream velocity*.

Persamaan – persamaan ini dapat dituliskan secara mudah dipahami dalam satu persamaan *complex potential*. Sebagai contohnya, pada *complex potential* untuk





uniform stream dan *doublet*, yang dinyatakan, $W(z) = u_{\infty}$ dan $W(z) = \mu / z$, sehingga didapatkan complex potential dari aliran disekitar silinder adalah :

$$W(z) = \left(z + \frac{a^2}{r} \right) u_{\infty} \quad (2.31)$$

Untuk *point vortex*, dengan adanya *circulation* Γ , maka potensial dan *stream function* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\phi = \frac{\Gamma}{2\pi} \theta \quad (2.32)$$

$$\psi = \frac{\Gamma}{2\pi} \ln r \quad (2.33)$$

sehingga untuk *complex potential function* pada *point vortex* yang terpusat pada point z_p dapat diekspresikan sebagai :

$$W(z) = \frac{i\Gamma}{2\pi} \ln(z - z_p) \quad (2.34)$$

Berdasarkan rumusan 2.8 dinyatakan bahwa kecepatan normal pada permukaan kolom adalah $U_r = \frac{\partial \phi}{\partial r}$ yang nilainya nol dan kecepatan tangensial U_{θ} pada sembarang titik dalam aliran dinyatakan :

$$U_{\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} = -u_{\infty} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \sin \theta \quad (2.35)$$

Jika suatu vortex ditambahkan dalam aliran pada sembarang titik diluar geometri model, maka *boundary condition*nya, $\frac{\partial \phi}{\partial r} \Big|_{r=a}^{r=0}$ akan berubah. Akan tetapi ini memungkinkan untuk menambahkan gambaran pusaran didalam kolom sehingga mempermudah untuk *re-instate* pada *boundary condition*. *Complex potential* untuk gambar vortex (Milne Thompson, 1968) dari Indiyono (1996) dapat dinyatakan sebagai berikut :



$$W(z) = - \left(\frac{i\Gamma}{2\pi} \right) \ln \left(z - \frac{a^2}{z_p} \right) \quad (2.36)$$

Sedangkan \bar{z}_p merupakan nilai complex conjugate dari z_p .

Potensial kompleks untuk vortex (pusaran) pada titik z_p disekitar silinder pada *uniform stream* dinyatakan sebagai berikut :

$$W(z) = \left(z + \frac{a^2}{z} \right) + \frac{i\Gamma}{2\pi} \ln(z - z_p) - \frac{i\Gamma}{2\pi} \ln \left(z - \frac{a^2}{z_p} \right) \quad (2.37)$$

Gaya in-line per unit panjang pada kolom dalam keadaan *uniform stream* dapat dihitung dengan n dari tekanan , seperti pada *unsteady Bernoulli equation*

Untuk *complex potential*-nya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F = \frac{1}{2} i \rho \oint_s \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 dz - i \rho \frac{\partial}{\partial t} \oint_s w dz \quad (2.38)$$

Dan persamaan ini dikenal dengan **Blasius' equation** (Sarpkaya, 1968)

Jika persamaan complex potenyial (2.23) disubsitusikan pada *Blasius' equation*, gaya in-line per unit panjang adalah bernilai nol pada aliran *steady* dan untuk *unsteady* diturunkan sebagai berikut :

$$F = 2 \rho a^2 \frac{\partial u_\infty}{\partial t} \quad (2.39)$$

sehingga teori aliran potensial yang dipakai pada *unsteady uni-directional flow* disekitar silinder tegak dihasilkan rumusan inersia yaitu :

$$F = \rho \cdot A \cdot C_m \frac{\partial u_\infty}{\partial t} \quad (2.40)$$

dimana A merupakan cross sectional area dari kolom dan koefisien inersia diambil antara harga 1,2–2.

2.7 Persamaan Dasar Yang Digunakan Dalam Aliran Fluida

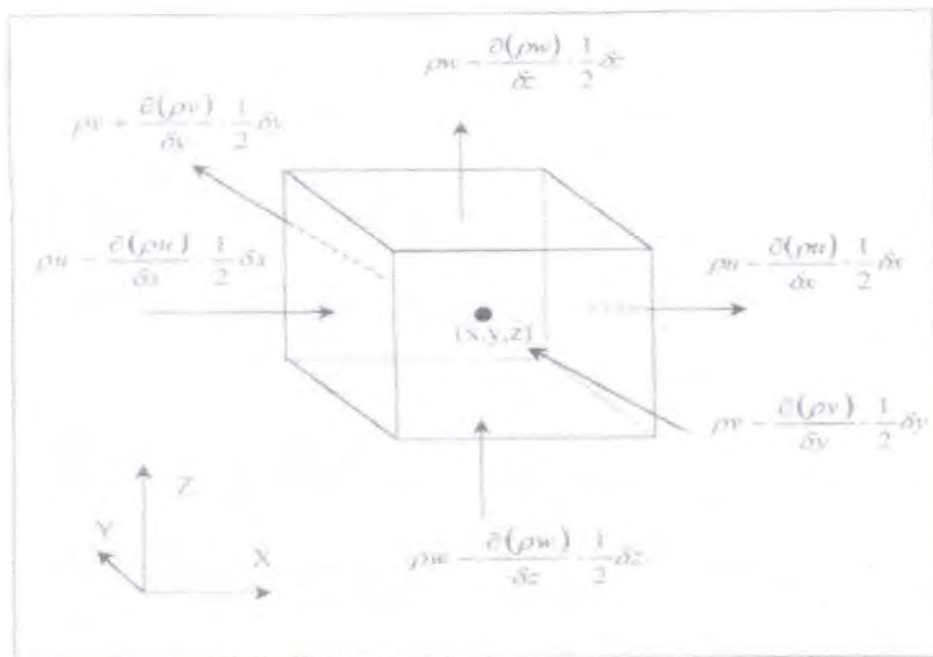
Beberapa hukum fisika yang biasanya digunakan pada analisa masalah aliran fluida terdiri dari hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan momentum.

♦ Hukum Kekekalan Massa

Berdasarkan keseimbangan massa elemen fluida *incompressible* yang masuk dan keluar elemen fluida adalah sama. Dalam bentuk persamaan adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial(pu)}{\partial x} + \frac{\partial(pv)}{\partial y} + \frac{\partial(pw)}{\partial z} = 0 \quad (2.40)$$

Dalam bentuk vektor yaitu : $\frac{\partial p}{\partial t} + \text{div}(pu) = 0$



Gambar 2.5 Aliran Massa Pada Elemen Fluida *Incompressible* (Versteeg,1995)

Dari rumusan 2.40, suku pertama menunjukkan perubahan rata-rata kerapatan fluida per satuan waktu (massa per satuan volume). Suku kedua menunjukkan massa aliran yang meninggalkan elemen fluida , dan disebut dengan



suku konveksi. Pada aliran yang bersifat incompressible (misal cairan), kerapatannya bersifat tetap yakni $\text{div } U = 0$ sehingga persamaannya menjadi :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (2.41)$$

◆ Hukum Kekekalan Momentum

Hukum Newton II menyatakan bahwa perubahan momentum yang terjadi pada partikel fluida adalah sama dengan jumlah gaya-gaya pada partikel tersebut. Pertambahan momentum per satuan volume dari partikel fluida diberikan oleh persamaan berikut, untuk ketiga arah sumbu :

$$\rho \cdot \frac{Du}{Dt} \rho \cdot \frac{Dv}{Dt} \rho \cdot \frac{Dw}{Dt} \quad (2.42)$$

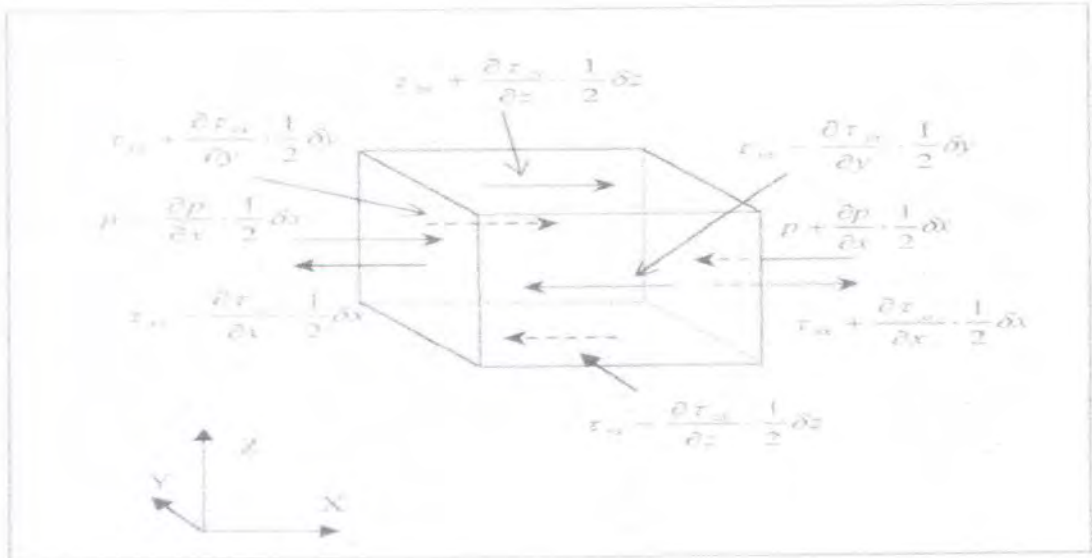
Gaya yang bekerja pada partikel fluida dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- Surface force: - gaya akibat tekanan
- gaya akibat kekentalan
- Body force : - gaya gravitasi
- gaya sentrifugal
- gaya elektromagnetik

Pada penurunan persamaan kekekalan momentum, peranan gaya tekanan p dan gaya kekentalan (τ) cukup penting. Dengan memperhatikan gambar 2.6 yang menyatakan komponen gaya pada elemen fluida yang bekerja pada arah x , maka akan ditentukan selisih gaya sebesar :



$$\left(\frac{-\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \right) \delta x \cdot \delta y \cdot \delta z + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \cdot \delta z + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \cdot \delta y \cdot \delta z \quad (2.43)$$



Gambar 2.6 Komponen Tegangan Pada Arah Sumbu x (Versteeg, 1995)

Bila persamaan (2.43) dibagi dengan volume $\delta x \delta y \delta z$ maka diperoleh :

$$\frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (2.44)$$

bila pengaruh *body force* dinyatakan sebagai besaran *source*, S_{MX} sedang persamaan momentum untuk arah sumbu x dapat diperoleh sebagai hubungan perubahan momentum pada partikel fluida sama dengan jumlah seluruh gaya-gaya akibat tegangan permukaan, persamaan (2.44) ditambah dengan perubahan momentum akibat adanya *source*, maka persamaan momentum arah sumbu x dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{MX} \quad (2.45)$$



Komponen persamaan momentum untuk arah sumbu y dinyatakan sebagai berikut

:

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (2.46)$$

Komponen persamaan momentum untuk arah z dinyatakan sebagai berikut :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + S_{Mz} \quad (2.47)$$

2.8. Persamaan Navier Stokes Untuk Fluida Newtonian

Aliran fluida mengandung besaran yang tidak diketahui yaitu komponen tegangan kekentalan τ_{ij} . Dalam aliran fluida, tegangan kekentalan tersebut dapat dinyatakan sebagai fungsi deformasi lokal. Pada analisa tiga dimensi, deformasi lokal tersebut terdiri dari *deformasi linear* dan *deformasi volumetric*.

❖ **Deformasi Linear**, dibedakan menjadi :

1. Komponen deformasi elongasi, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.48)$$

2. Komponen deformasi elongasi geser, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$e_{xy} = e_{yx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2.49)$$

$$e_{xz} = e_{zx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) e_{zy} = e_{yz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)$$

❖ **Deformasi Volumetric**, dinyatakan sebagai berikut :



$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} = \text{div } u \quad (2.50)$$

Pada fluida yang bersifat Newtonian, tegangan kekentalan berbanding lurus dengan deformasi. Dengan memasukkan besaran – besar *viskositas* μ untuk deformasi linear dan λ untuk *deformasi volumetric* maka diperoleh komponen tegangan kekentalan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \text{ div } u \\ \tau_{yy} &= 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \text{ div } u \\ \tau_{zz} &= 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \text{ div } u \\ \tau_{xy} = \tau_{yx} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \tau_{yz} = \tau_{zy} &= \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2.51)$$

dengan substitusi persamaan 2.51 ke dalam persamaan (2.45) sampai (2.47) maka diperoleh persamaan Navier Stokes, yang nantinya digunakan dalam *finite volume methode*.

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot u) + S_{MX} \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot u) + S_{MY} \\ \rho \frac{Dw}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot u) + S_{Mz} \end{aligned} \quad (2.52)$$





2.9. Teori Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluids Dynamics (CFD) merupakan analisa sistem yang mencakup aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (numerical). Teknik ini sangat berguna dan dapat diaplikasikan pada bidang industri dan non industri. Code CFD terstruktur atas logaritma numerik, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan problem pada suatu aliran fluida.

Code CFD disini terdiri atas tiga (3) elemen utama yakni : (a) pre-processor, (b) solver , dan (c) post processor .

2.9.1. Pre-processor

Tahap pre-processor terdiri dari input problem untuk program CFD melalui suatu interface yang kemudian input problem tadi ditransformasikan ke dalam bentuk yang sesuai dengan menggunakan *flow solver*. Aktivitas user pada tahap ini antara lain :

- Mendefinisikan geometri dalam wilayah kajian
- Pembentukan grid-sub divisi domain, dengan syarat tidak *overlap* terhadap sub-domains : suatu *grid (mesh) cell (elemen)*.
- Pemilihan fenomena fisik dan kimia yang harus dimodelkan.
- Mendefinisikan properti fluida.
- Spesifikasi kondisi *boundary* pada *cell* yang sesuai dengan atau menyentuh *domain boundary*

Penyelesaian masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan atau temperatur didefinisikan pada simpul-simpul setiap cell. Jumlah cell dalam grid (*mesh*) untuk menentukan akurasi penyelesaian CFD. Pada umumnya semakin



banyak *cell* semakin baik akurasi penyelesaiannya, akan tetapi sebagai konsekuensinya, biaya yang berkaitan dengan investasi hardware dan waktu perhitungan yang diperlukan menjadi lebih besar. Untuk hasil yang optimal, biasanya pembuatan mesh dilakukan tidak seragam atau *uniform*. Daerah yang memiliki gradient perubahan bentuk sangat tajam, proses meshing dilakukan sangat halus, sedang pada daerah lainnya dibuat agak kasar.

2.9.2. Solver

Ada 4 teknik solusi numerik berbeda yakni : *finite difference*, *finite element*, *spectral methode*, dan *finite volume*.

Secara umum uraian metode numerik bentuk basis solver meliputi tahap sebagai berikut :

- Aproksimasi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana
- Diskritisasi dengan substitusi aproksimasi kedalam persamaan aliran *governing* dan diikuti manipulasi matematika
- Solusi persamaan aljabar.

Perbedaan diantara keempat metode terletak pada cara pendekatan variabel aliran dan proses pendiskritisannya.

Dalam tahap ini akan dilakukan perhitungan tentang model yang kita buat, secara iterasi. Semakin kecil tingkat kesalahan yang kita tentukan, maka semakin banyak iterasi yang akan dilakukan. Metode numerik yang biasa digunakan dalam teknik CFD adalah *finite volume methode*. Berikut ini merupakan metode numerik yang lain yang juga digunakan dalam CFD :



❖ Metode Beda Hingga (*Finite Difference Method*)

Fungsi potensial aliran ϕ yang tidak diketahui ditentukan pada titik-titik simpul grid. Ekspansi deret Taylor sering digunakan untuk memperoleh pendekatan dalam bentuk finite difference, dari turunan-turunan aliran ϕ tersebut diatas. Dengan mensubstitusi setiap turunan yang ada pada persamaan aliran dengan pendekatan tersebut, maka akan diperoleh suatu persamaan aljabar untuk setiap titik grid.

❖ Metode Elemen Hingga (*Finite Elemen Method*)

Metode ini menggunakan fungsi bentuk sederhana (linier atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi aliran Φ . Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian Φ secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak dipenuhi, sisa (*residual*) dapat diukur tingkat kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan mengintegalkannya. Hasilnya merupakan fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

❖ Metode Spektral (*Spectral Method*)

Metode ini didekati dengan deret fourier atau deret polynomial Chebysev. Tidak seperti metode beda dan elemen hingga yang memiliki pendekatan tidak lokal tetapi valid melalui computational domain. Pada metode ini kita menurunkan persamaan yang tidak diketahui tersebut ke dalam persamaan pengendali dengan fungsi deret.

❖ Metode Volume Hingga (*Finite Volume Method*)

Metode ini dikembangkan sebagai formulasi khusus metode beda hingga. Secara global metode beda hingga memiliki algoritma numerik sebagai berikut :



- a) Pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh control volume dari domain penyelesaian.
- b) Pendiskritan yang meliputi subsitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegalkan tersebut diatas yang menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi, dan source. Pada tahap ini persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar.
- c) Penyelesaian persamaan aljabar dengan metode iterasi

Langkah pertama tersebut diatas, membedakan metode finite volume dari teknik-teknik CFD lainnya. CFD Code meliputi teknik-teknik pendiskritan yang cocok untuk menyelesaikan fenomena perpindahan (*transport*), konveksi (akibat aliran fluida) dan difusi (akibat adanya perbedaan Φ antra satu titik dengan titik alinnya serta source (berhubungan dengan muncul atau hilangnya Φ). Kekentalan dari variable aliran dalam finite control volume dapat diekspresikan dalam persamaan keseimbangan antara proses kenaikan dan penurunan yaitu :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|---|
| Perubahan Total ϕ dalam control volume terhadap waktu | = | Perubahan ϕ dari konveksi ke dalam control volume | + | Perubahan ϕ difusi ke dalam control volume | + | Perubahan ϕ ke dalam control volume |
|---|---|---|---|--|---|---|

2.10.3. Post-pocessor

Dalam tahap pre – processor, para ahli melakukan sejumlah besar pengembangan pada setup bidang processing. Untuk meningkatkan *engineering workstation*, dimana kini banyak diantaranya telah memiliki kemampuan grafis dan paket CFD utama dengan dilengkapi alat bantu visualisasi data multifungsi. Dalam proses set-up dan running simulasi CFX, ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisik dan kimia,



Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam penyelesaian algoritma penyelesaian numerik. Ada 3 konsep matematika yang diperlukan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma yaitu: konvergensi, konsistensi, dan stabilitas.

- ❖ Konvergensi, yaitu : sifat metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian eksak dimana grid spacing, ukuran control volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol. *Konvergensi* biasanya sulit untuk didapatkan secara teoritis.
- ❖ Konsistensi, yaitu : urutan numerik untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan sama (*equivalen*) dengan persamaan pengendali sebagai jarak grid mendekati nol.
- ❖ Stabilitas, yaitu : penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan pada data awal maka dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau *devergens*.

CFX memberikan hasil fisik yang realitis dengan akurasi yang baik pada simulasi dengan grid yang berhingga. Ada tiga sifat perhitungan *finite volume*, yaitu : *Conservativeness*, *Boundedness* dan *Transportiveness*. Ketiganya didesain menjadi bagian berhingga yang dapat menunjukkan keberhasilan simulasi CFX. Disamping itu ketiga umumnya digunakan sebagai alternatif konsep matematika yang akurat. Skema numerik memiliki sifat *conservativeness* yang dapat mempertahankan kekentalan sifat-sifat fluida secara global untuk seluruh domain penyelesaiannya. Pendekatan volume hingga dapat menjamin tetap berlangsungnya kekentalan fluida Φ untuk tiap control volume. Proses aliran terdiri dari dua yaitu konveksi dan difusi. Keduanya dapat dihitung pengaruh arahnya dengan bagian *finite volume*, yaitu *transportiveness*. Sedangkan



boundedness dapat mempertahankan kestabilan suatu metode numerik yang mensyaratkan adanya batasan harga minimum dan maksimum dari variabel-variabel aliran.

2. 10. Model Matematika dan Algoritma Solusi Pada CFX-5.4.1

2.10.1. Persamaan Governing

Persamaan solver pada software CFX-5 menggunakan persamaan Navier-Stokes dalam format kekekalan bentuk atau *conservation form*.

A. Persamaan Transport

Pada umumnya persamaan massa, momentum, dan kekekalan energi dapat ditulis sebagai berikut :

Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (2.53)$$

Persamaan Momentum

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = \nabla \cdot (-p \delta + \mu (\nabla U + (\nabla U)^T)) + S_M \quad (2.54)$$

Persamaan Energi

$$\frac{\partial \rho h_{hot}}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{hot}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + S_g \quad (2.55)$$

h_{hot} didefinisikan sebagai entalpi total spesifik, pada beberapa kasus tertentu umum, properti variable dan aliran *compressible* diberikan dalam bentuk entalpi statik (termodinamika) spesifik h , yakni :

$$h_{hot} = h + \frac{1}{2} U^2 \quad (2.56)$$



dimana :

$$h = h (p, T) \quad (2.57)$$

Pada kelima persamaan diatas, terdapat tujuh variable yang tidak diketahui yakni : u, v, w, p, T, ρ, h . Variable tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan bantuan *equation of state*, yang berhubungan dengan *densitas* terhadap tekanan dan temperatur, dan *constitutive equation* yang berhubungan dengan enalpi terhadap temperatur dan tekanan.

Model fluida dan equation of state

Densitas fluida umum dapat dijelaskan sebagai fungsi temperatur, tekanan dan beberapa variable tambahan :

$$\rho = \rho (p, T, AV_1, AV_2, \dots, AV_n) \quad (2.58)$$

Kapasitas panas spesifik c_p , untuk fluida umum dapat dideskripsikan sebagai fungsi temperatur, tekanan dan beberapa variable tambahan :

$$c_p = c_p (p, T, AV_1, AV_2, \dots, AV_n) \quad (2.59)$$

Untuk fluida ideal, densitas didefinisikan melalui ***hukum fluida ideal***. Sehingga pada software CFX 5.4.1, koefisien c_p merupakan fungsi temperatur.

$$c_p = c_p (T) \quad (2.60)$$

B. Equation of State Untuk Densitas

Equation of state yang dimaksud adalah persamaan aljabar termodinamika untuk densitas fluida. Pada kondisi fluida ideal, hubungan dideskripsikan oleh ***hukum fluida ideal*** :

$$\rho = \frac{w(p + p_{ref})}{Ro.T} \quad (2.61)$$



Dimana w adalah berat mekul fluida, dan R_o adalah konstanta fluida umum.

Rasio panas spesifik (γ), dihitung dari spesifikasi c_p , dan berat molekular :

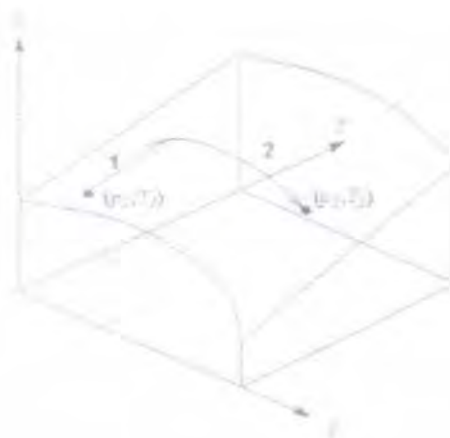
$$R = \frac{R_o}{w} \quad (2.62)$$

Dimana R adalah konstanta fluida spesifik, dan

$$\gamma = \frac{c_p}{c_p - R} \quad (2.63)$$

C. Equation of State Untuk Entalpi (Persamaan Constitutive)

Persamaan *constitutive* yang dimaksud adalah persamaan aljabar termodinamika untuk entalpi fluida. Selain untuk properti fluida umum, hubungan tekanan-temperatur-entalpi dihitung tabel *property* dan integral dari turunan definisi perubahan entalpi menggunakan simbol r dan c_p . Tabel *property* dibentuk menggunakan batasan *upper* dan *lower*, dan tekanan. Kemudian untuk beberapa perubahan umum, dari kondisi (p_1, T_1) ke (p_2, T_2) maka perubahan entalpi (dh) dihitung dalam dua tahap yakni pertama pada tekanan konstan kemudian pada temperatur konstan.



Gambar 2.7

Arah perhitungan tekanan dan temperatur dari titik 1 ke titik 2
(AEA Technology, plc)



Perubahan entalpi total dihitung dengan menggunakan :

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT + \int_{p_1}^{p_2} \left[v - T_2 \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right) \right] dp \quad (2.64)$$

Langkah pertama adalah terhadap perubahan entalpi untuk fluida ideal. Langkah kedua adalah “koreksi” yang disyaratkan pada aliran nyata. Solver pada software CFX-5.4.1 menggunakan titik interpolasi bilangan konstanta untuk membentuk tabel properti yang berisi akurasi estimasi terbaik untuk batas *upper* dan *lower*.

Jika hubungan densitas fluida didasarkan pada fluida ideaal, maka perubahan entalpi statis sesuai dengan rumus :

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT \quad (2.65)$$

Jika densitas fluida dan kapasitas panas spesifik adalah konstan maka perubahan pada entalpi statis berubah menjadi :

$$dh = c_p dT + \frac{\partial p}{\rho} \quad (2.66)$$

D. Konjugasi Perpindahan Panas

Software CFX-5.4.1 memiliki fasilitas untuk membuat wilayah solid, sehingga persamaan perpindahan panas dapat diselesaikan, tetapi tidak melalui aliran, dikenal sebagai perpindahan panas konjugasi dan *solid region*, secara umum sebagai *solid sub domain*. Dalam solid sub-domain, rumus kekentalan persamaan energi disederhanakan (karena tidak ada aliran didalam solid tersebut), jika konduksi hanya menggunakan bentuk perpindahan panas. Konduksi panas melalui benda solid mengikuti persamaan transport sebagai berikut :



$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + S_g \quad (2.67)$$

Dimana ρ , c_p dan t adalah densitas, kapasitas panas spesifik dan konduktivitas suhu solid.

E. Model Full Bouyancy

Untuk perhitungan aliran *bouyancy* dimana densitas adalah fungsi tekanan, temperatur, atau variable tambahan, maka digunakan *model full bouyancy*. *Full bouyancy* diimplentasikan dengan menambahkan *source term* terhadap persamaan momentum. *Source term* gaya *bouyancy* adalah fungsi variable densitas lokal.

$$S_{M.bouy} = (\rho - \rho_{ref})g \quad (2.68)$$

F. Model Boussineq

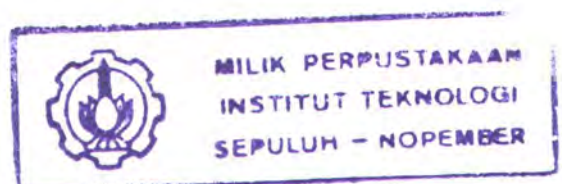
Untuk aliran *bouyancy* yang bergerak akibat adanya perbedaan temperatur, maka variasi densitas dalam fluida terlalu kecil untuk mencegah pembulatan nilai *error* dalam perhitungan *source term*. Jika densitas dijaga sebagai konstanta, maka model *boussineq* digunakan dan *source term* diberikan oleh rumusan berikut :

$$S_{M.bouy} = (\rho - \rho_{ref})g \quad (2.69)$$

Sebagai fungsi dimana taksiran Boussineq terhadap variasi densitas lokal didefinisikan :

$$\rho^I = \rho \cdot \beta \cdot (T - T_{ref}) \quad (2.70)$$

Dimana β adalah *ekspansivitas thermal*, T_{ref} adalah temperatur referensi *bouyancy* dan ρ adalah konstanta densitas fluida.





Model Turbulensi

a. Model Persamaan Zero

Model persamaan *zero* adalah suatu konsep sederhana *viscositas-eddy* yang menggunakan persamaan aljabar untuk menghitung kontribusi viscositas dari *turbulensi eddy*. Turbulensi viscositas dimodelkan sebagai produk skala kecepatan turbulensi U_b dan skala panjang turbulensi l_t diperkenalkan oleh **Prandtl** dan **Kolmogorov**:

$$\mu_t = \rho \cdot f_\mu \cdot U_t \cdot l_t \quad (2.71)$$

Dimana f_μ adalah konstanta *proporsionalitas*. Skala kecepatan diambil untuk menjadi kecepatan maksimum dalam domain fluida. Sedangkan skala panjang diturunkan menggunakan rumus : (V_D = volume domain fluida)

$$l_t = \frac{V_D^{\frac{1}{3}}}{7} \quad (2.72)$$

b. Model k-ε

Model k-ε (k epsilon) menggunakan hipotesa viskositas-eddy untuk kondisi turbulen. Model k-ε memperkenalkan dua variable baru dalam sistem persamaan yakni :

κ adalah energi kinetik turbulen, didefinisikan sebagai varian fluktuasi dalam kecepatan dan berdimensi m^2/s^2

ε adalah laju pada disipasi fluktuasi kecepatan dan memiliki k tiap unit waktu (m^2/s^3)

Persaman kontinuitas menjadi :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot U) = 0 \quad (2.73)$$



Persamaan momentum menjadi :

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = \nabla \cdot (\mu_{ref} \nabla U) = \nabla \cdot (\mu_{ref} \cdot \nabla U)^T + B \quad (2.74)$$

Dimana B adalah jumlah gaya pada *body*, μ_{ref} adalah perhitungan viskositas efektif untuk turbulensi dan p' adalah tekanan yang dimodifikasi sehingga rumusan menjadi:

$$P' = P + \rho k \quad (2.75)$$

Model k- ϵ serupa dengan model persamaan zero, berbasis konsep viscositas eddy sehingga :

$$2 - \mu_{ref} = \mu + \mu_t \quad (2.76)$$

Dimana μ_t adalah viscositas turbulen. Model k- ϵ mengansumsikan bahwa viscositas turbulensi memiliki hubungan terhadap energi kinetik turbulensi dan dissipasi berdasarkan rumus :

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (2.77)$$

Dimana C_ϵ adalah konstanta turbulensi.

Pemodelan Aliran di dekat Dinding (Wall)

Heat flux pada dinding dapat pula dimodelkan menggunakan pendekatan fungsi dinding. Caranya dengan menggunakan asumsi bahwa profil temperatur *non-dimensional* dekat dinding akan mengikuti suatu profil logaritma *universal*, dimana temperatur *non-dimensional*, T^+ , didefinisikan sebagai:

$$T^+ = \frac{\rho c_p u (T_w - T_f)}{q_w} \quad (2.78)$$



Dimana T_w adalah temperatur pada dinding, T_f adalah temperatur fluida (non – dimensi) , c_p adalah kapasitas panas fluida dan q_w flux panas pada dinding. Distribusi temperatur non–dimensi dimodelkan sebagai berikut :

$$T^+ = \frac{1}{2} \log(y + E) \quad (2.79)$$

Dimana konstanta model thermal berbeda terhadap momentum. Kombinasi dua persamaan akan mengarah pada bentuk sederhana untuk model *wall heat flux*.

$$q_w = \frac{\lambda}{y} (T_w - T_f) \left(\frac{y^+}{T^+} \text{Pr} \right) \quad (2.80)$$

dimana λ adalah konduktivitas thermal fluida dan Pr adalah bilangan bilangan

$$\text{fluid Prandtl, } Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda}$$

(2.81)

Model wall function untuk T^+ juga dimodifikasi dalam wilayah *laminar sub layer*.

Boundary Condition

A. Inlet (subsonic)

❖ Massa dan Momentum

Magnitude kecepatan *inlet* ditentukan dan arah diambil normal terhadap *boundary*. Batasan arah mensyaratkan bahwa, D_1 , paralel terhadap *boundary surface* normal, yang dihitung pada tiap *element face* pada *inlet boundary*.

❖ Komponen Kecepatan Cartesian

Komponen kecepatan *boundary* ditetapkan, dengan *non – zero resultant* kedalam domain:



$$U_{inlet} = U_{spec} j + W_{spec} k \quad (2.82)$$

❖ Tekanan Total

Tekanan total (p_{tot}), untuk fluida incompressible didefinisikan sebagai

$$P_{tot} = P_{start} + \frac{1}{2} \rho U^2 \quad (2.83)$$

dan ditentukan menggunakan tekanan total relatif dari arah aliran

Catatan

Batas normal terhadap pilihan *boundary* adalah sama seperti pada pilihan kecepatan normal . Secara alternatif, vektor arah dapat ditentukan secara eksplisit menggunakan tiga komponen. Pada kedua kasus *boundary* aliran massa adalah suatu hasil implisit simulasi aliran.

❖ Laju Aliran Massa

Batas laju aliran massa, ditentukan sepanjang arah komponen. Dimana influx dihitung menggunakan rumus :

$$\rho U = \frac{\dot{m}}{\int_s dA} \quad \text{dan} \quad \int_s dA \quad (2.84)$$

yang merupakan integrasi luasan *boundary surface* pada suatu mesh yang diberikan. Area tersebut berbeda dengan resolusi mesh karena resolusi mesh menentukan bagaimana *boundary surface* ditentukan. Nilai ρU dijaga tetap konstan diatas seluruh *boundary surface*.



❖ Turbulensi

Untuk model turbulensi k-ε kuantitas *Inlet*, k dan ε ditentukan secara langsung atau dihitung menggunakan skala distribusi pada *Inlet* dengan mengacu pada intensitas turbulensi, *I* dimana:

$$I = \frac{u}{U} \quad (2.85)$$

Aliran Inlet k dan ε melibatkan *advection* dan *diffusion*.

$$\begin{aligned} Q_{inlet}^k &= Q_{advec}^k + Q_{diffus}^k \\ Q_{inlet}^\epsilon &= Q_{advec}^\epsilon + Q_{diffus}^\epsilon \end{aligned} \quad (2.86)$$

Aliran *advection* dievaluasi menggunakan perhitungan nilai *Inlet* k dan ε,

$$\begin{aligned} Q_{advec}^k &= \dot{m} k_{spec} \\ Q_{advec}^\epsilon &= \dot{m} \epsilon_{spec} \end{aligned} \quad (2.87)$$

Asumsi aliran difusi diabaikan dan dibandingkan terhadap *advection*, dan mendekati nol.

❑ Intensitas Default dan Skala Panjang Autocompute

Ketika intensitas turbulensi Inlet dipilih, maka nilai diatur mendekati :

$$I = \frac{u}{U} = 0.037 \quad (2.88)$$

Dengan suatu nilai taksiran untuk aliran pipa internal. Energi turbulensi inlet dihitung menggunakan :

$$k_{inlet} = \frac{3}{2} I^2 U^2 \quad (2.89)$$

dan dissipasi turbulensi dihitung menggunakan :



$$\varepsilon_{\text{inlet}} = \rho c_{\mu} \frac{k^2}{\mu_t} \quad (2.90)$$

dimana :

$$\mu_t = 1000 I \mu \quad (2.91)$$

□ Intensitas dan Autocompute Length Scale

Intensitas turbulensi ditentukan secara langsung dan distribusi k dan ε pada perhitungan *inlet* menggunakan hubungan *Default Intensity* dan pilihan *Autocompute Length Scale*.

□ Intensity dan Length Scale

Intensitas turbulensi dan *length scale* ditentukan pada langkah awal perhitungan. Energi kinetik turbulensi dan dissipasi dihitung menggunakan rumus

$$k_{\text{inlet}} = \frac{3}{2} I^2 U^2 \quad (2.92)$$

dan
$$\varepsilon_{\text{inlet}} = \frac{k^{\frac{3}{2}}}{I_t} \quad (2.93)$$

Catatan :

Baik k dan ε ditentukan secara langsung

$$k_{\text{inlet}} = k_{\text{spec}} \quad \text{dan} \quad \varepsilon_{\text{inlet}} = \varepsilon_{\text{spec}}$$

(1) Temperatur Static

Temperatur *Inlet static* ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$T_{\text{stat,inlet}} = T_{\text{spec}} \quad (2.94)$$

Aliran energi inlet mencakup *advection* dan *diffusion*,

$$Q_{\text{inlet}} = Q_{\text{advect}} + Q_{\text{diffus}} \quad (2.95)$$

Aliran energi advection merupakan fungsi entalpi total spesifik, h_{hot}



$$\dot{Q}_{advec} = \dot{m} h_{hot} \quad (2.96)$$

dimana h_{hot} dihitung dari entalpi statis spesifik, h_{hot} , dan kecepatan *boundary* pada *inlet*

$$h_{hot} = h_{stat} + \frac{1}{2} U^2 \quad (2.97)$$

Enatlpi statis dihitung menggunakan nilai T_{spec} yang telah ditentukan, nilai *boundary* U dan p , dan hubungan termodianmika $h = h (p, T)$ pada fluida. Evaluasi U tergantung pada keaslian spesifikasi momentum dan massa untuk *boundary condition*. Dan aliran energi inlet melalui *diffusi* diasumsikan dapat diabaikan untuk kondisi *advection*, dan mendekati *zero*

(2) Temperatur Total

Boundary advection dan *diffusion term* untuk temperatur total yang telah ditentukan, dievaluasi dengan seksama sperti pada penentuan temperatur statis kecuali temperatur statis secara dinamis dihitung dari definisi temperatur total :

$$T_{tot, inlet} = T_{spec} \quad (2.98)$$

Sedangkan untuk fluida dengan konstanta kapasitas panas :

$$T_{stat, Inlet} = T_{tot, Inlet} - \frac{U^2}{2c_p} \quad (2.99)$$

B. Outlet (subsonic)

❖ Tekanan statis uniform

Tekanan statis relatif pada *outlet boundary* didapat sebagai berikut :

$$P_{statisoutlet} = P_{spec} \quad (2.100)$$



❖ Normal speed out

Magnitude kecepatan pada *oulet* ditentukan dan arah diambil normal terhadap *boundary* pada resolusi mesh

❖ Komponen kecepatan cartesian

Komponen kecepatan *boundary* ditetapkan, dengan *non-zero resultant* kedalam domain:

$$U_{inlet} = U_{spec}j + W_{spec}k \quad (2.101)$$

❖ Tekanan statis rata-rata

Outlet relative static pressure persamaannya adalah :

$$P_{ave} = \frac{1}{A} \int_s P dA \quad (2.102)$$

❖ Mass flow rate out

Distribusi massa didaerah *oulet* ditentukan oleh aliran total massa yang dinyatakan dalam persamaan :

$$\dot{m} = \rho A F \quad (2.103)$$

dimana jilai F sebagai berikut :

$$F = \frac{\dot{m}_{tot}}{\sum_{all} \rho A U} \quad (2.104)$$

$$\dot{m}_{tot} = \sum_{all} \dot{m} \quad (2.105)$$



biasanya F lebih besar dari atau kurang dari *unity*

1. Temperatur Statis

Temperatur statis ditentukan pada opening bounadary, $T_{stat, Opening} = T_{spec}$

a.Wall

❖ No Slip (Stationary)



Kecepatan fluida pada *wall boundary* diatur mendekati nol, sehingga *boundary condition* untuk kecepatan menjadi :

$$U_{wall} = 0 \quad (2.106)$$

Dalam kasus ini komponen kecepatan paralel terhadap *wall*, memiliki nilai *finite* (yang dihitung), tetapi normal terhadap *Wall*, dan *wall shear stress*, diatur mendekati nol.

$$U_{n,wall} = 0 \quad (2.107)$$

$$\tau_w = 0$$

❖ No Slip (Moving)

Untuk kasus ini, fluida pada *wall boundary* bergerak pada kecepatan yang sama *Wall*. Sehingga, *boundary condition* :

$$U_{wall} = U_{spec}i + V_{spec}j + W_{spec}k \quad (2.108)$$

❖ Turbulensi

Perlakuan *Wall boundary condition* untuk aliran turbulen adalah sama seperti aliran alaminar, kecuali untuk no slip.

❖ Temperatur Statis

Temperatur statis ditentukan pada *wall boundary* :

$$T_{stat,wall} = T_{spec} \quad (2.109)$$

❖ Heat Flux

Heat flux pada *wall boundary* ditetapkan sebagai :

$$q_{wall} = q_{spec} \quad (2.110)$$

Koefisien perpindahan panas *Heat flux* pada dinding *Wall boundary* dihitung menggunakan :

$$q_w = h_c(T_s - T_p) \quad (2.105)$$



dimana h_c adalah koefisien perpindahan panas pada sisi dalam (telah ditentukan),
 T_s adalah temperatur *outside* (yakni *outside* domain fluida) dan T_p adalah
temperatur pada *internal near-wall boundary elemen centre mode*.

2.13. Tahap Validasi Dalam CFX-5.4.1.

Dengan proses perhitungan pendekatan CFX melalui beberapa tahap validasi. Tahap validasi untuk mengetahui model itu sesuai dalam CFX adalah sebagai berikut :

1. *Convergence*

Pada tahap ini proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan belum sesuai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka komputasi akan terus berjalan.

2. *Grid Independence*

Besarnya jumlah cell yang kita gunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang didapat. Tetapi tidak selamanya dengan jumlah *cell* yang banyak akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian pengguna dituntut untuk dapat menentukan jumlah *cell* yang optimum, agar waktu dan memori komputer yang terpakai tidak selalu besar.

3. Verifikasi hasil dengan teori atau data lain

Keakuratan hasil perhitungan dengan pendekatan CFX perlu dibandingkan dengan teori atau data lainnya yang sudah ada. Sehingga hasil perhitungan tidak disangsikan lagi



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.
(Q.S. Al-Mujadillah ayat 11)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Urutan Pengerjaan

Pada tugas akhir ini , kami melakukan kegiatan dengan urutan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan langkah awal yang harus dilakukan agar penelitian yang dilakukan dapat mencapai tujuan yang diinginkan. Khususnya dalam hal ini adalah hal-hal yang berhubungan dengan penelitian mengenai aliran fluida pada platform akibat beban gelombang dengan arah datang gelombang pada arah 0° , 45° dan 90° . Berdasarkan hasil studi literatur ini diperoleh informasi bahwa penelitian-penelitian mengenai aliran fluida pada platform akibat beban gelombang masih sangat terbatas dan umumnya kurang menjadi perhatian utama dalam perencanaan konstruksi pada bangunan lepas pantai.

2. Pengumpulan data struktur TLP yang dipakai, meliputi dimensi struktur, konfigurasi struktur dan data lingkungan. Data yang dipakai, kami dapatkan dari proyek kerjasama Fakultas Teknologi ITS dengan PT Indospec Asia (PTIA). Data yang kami ambil adalah data struktur dari platform TLP “West Seno” milik UNOCAL yang bertempat di selat Makassar, Kalimantan Timur. Data diperoleh dari Dosen pembimbing Tugas akhir.

3. Mempelajari software CFX-5.4.1. yang akan digunakan dalam menganalisa beban gelombang dalam tugas akhir ini.



4. Pemodelan dengan CFX-5.4.1. sesuai dengan data yang ada baik data dari dimensi platform maupun data lingkungan.
5. Selain analisa dilakukan dengan software, juga dilakukan analisa terhadap beban hidrodinamika secara teoritis.
6. Validasi hasil perhitungan, hasil dari analisa secara software dibandingkan dengan hasil analisa secara teoritis.

3.2. Langkah Pemodelan Dalam CFX-5.4.1

Konsep *design* yang akan dipakai sebagai standart acuan pemodelan adalah pemodelan dengan pendekatan CFD, namun pemodelan akan menggunakan software CFX.5.4.1. Pada software tersebut memiliki sebuah internal software yang disebut *pre-processor*. *Pre-processor* ini dinamakan **CFX –Builds** yang berfungsi sebagai alat bantu untuk memodelan bentuk dari platform. Dengan mengacu pada data yang ada dapat dibentuk geometri model platform. Sedangkan *processor* dan *post-processor* terdapat pada software CFX-5.4.1 itu sendiri yaitu : **CFX Solver Manager** dan **CFX-Visualise**. Adapun metode untuk proses meshing yang digunakan dalam pemodelan ada pada CFX – Builds yaitu metode meshing volume atau *FVM* (*Finite Volume Methode*).

CFX 5.4.1 disini menyediakan fasilitas untuk memproses analisa fluid dynamic melalui 3 tahapan yang telah disebutkan diatas yakni *pre-processor*, *processor*, *post-processor*. Pada langkah pemodelan *pre-processor* meliputi :

1. Geometri Modelling
2. Fluid Domain
3. Boundary Conditions
4. Initial Condition



5. Meshing
6. Solver Control
7. Definition File

Dalam hal ini masukan data untuk beberapa langkah tersebut disesuaikan dengan kondisi obyek yang dianalisa dan batasan masalah yang ada. Berikut ini akan diuraikan mengenai langkah pemodelan.

3.2.1 Pemodelan Geometri Platform Pada CFX

3.2.1.1. Pemodelan Platform Dengan Sudut Datang Gelombang 0° , 45° dan 90° .

Untuk pemodelan pada kasus ini, dibuat geometri platform (kolom dan ponton) dengan ukuran dari data awal yakni platform dengan panjang 51,36 m lebar 51,36 m dan tinggi 32,26 m. Skala yang digunakan dalam pemodelan geometri ini adalah 1 : 1. Untuk kasus pemodelan geometri kondisi operasional ini sudut datang gelombang pada sudut 0° , 45° dan 90° . Dalam CFX 5.4.1 nanti geometri sama tetapi sudut datang yang mengenai geometri nanti berbeda yakni 0° , 45° dan 90° . Untuk arah 0° dan 90° dalam pemodelan menggunakan model yang sama dikarenakan geometri yang simetris Pemodelan geometri ini termasuk dalam keadaan *oscillatory flow*, dengan variasi nilai Keulegan - Carpenter (KC) yang akan dipakai sebagai faktor validasi dari (Indiyono, 1996) adalah 5 – 30. Sehingga dari faktor nilai KC tersebut berdasarkan rumusan maka didapatkan nilai kecepatan maksimum (*velocity amplitude*) fluida untuk keadaan *oscillatory flow* adalah :

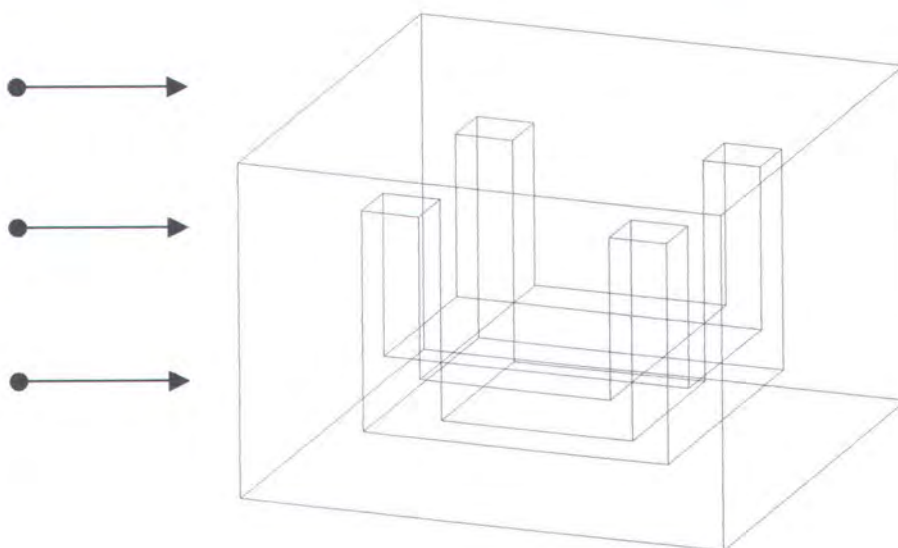
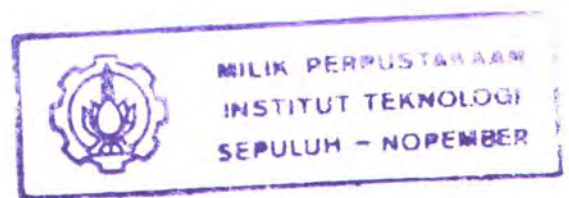


Tabel 3.1. Variasi KC dan Kecepatan Pada Kondisi Operasional (Oscilatory flow)

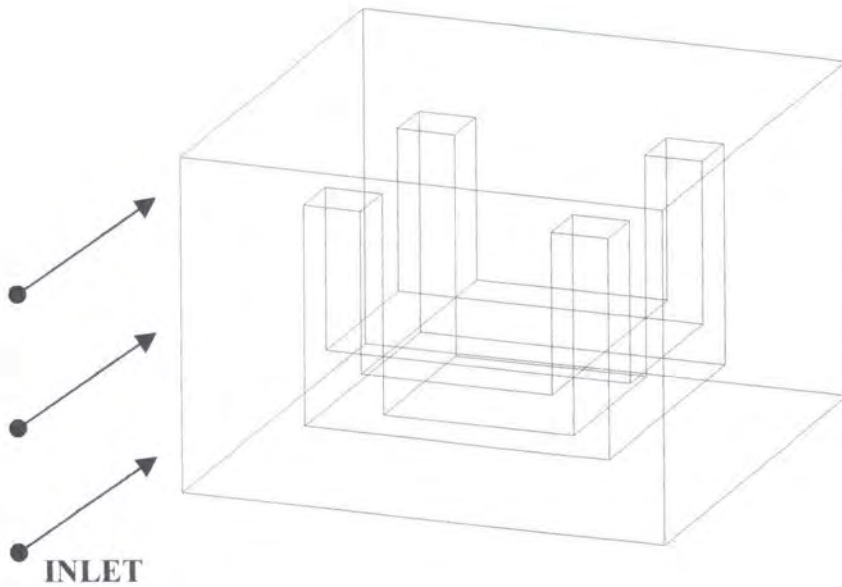
| KC | T (detik) | D _{eg} (m) | V _m (m/s) |
|----|-------------|-----------------------|------------------------|
| 5 | 7.2 | 13.6 | 9.44 |
| 10 | 7.2 | 13.6 | 18.89 |
| 15 | 7.2 | 13.6 | 28.33 |
| 20 | 7.2 | 13.6 | 37.78 |
| 25 | 7.2 | 13.6 | 47.22 |
| 30 | 7.2 | 13.6 | 56.67 |

Dari data diatas maka dapat diketahui bahwa percobaan yang akan dilakukan untuk kondisi operasional (*oscilatory flow*) adalah sebanyak 6 kali pada satu arah sudut datang fluida.

INLET



Gambar 3.1.
Geometri Platform Dengan Sudut Datang Gelombang 0° Dan 90°



Gambar 3.2.
Geometri Platform Dengan Sudut Datang Gelombang 45°

3.2.2. Penentuan Fluid Domain

Fluid domain adalah model fisik fluida untuk analisa CFD. Geometri volume fluida dan daerah kerjanya dibuat pada tahap ini. Pilihan menu domain yang dipilih untuk pemodelan geometri yaitu dengan memasukkan variable :

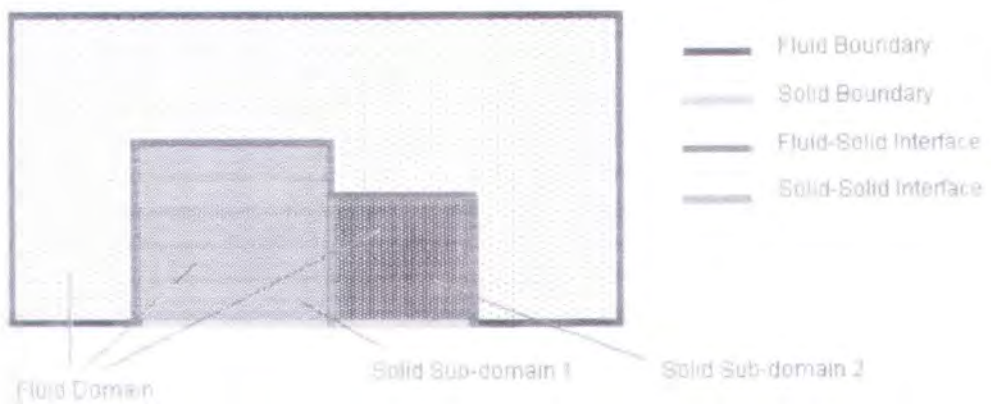
- ❖ Tekanan : 101300 Pa
- ❖ Tipe Simulasi : Transient (*oscillatory flow*)
(Timestep = 0.72 detik dan Time Duration 7.2 detik)
- ❖ Domain Motion : Stationary

Sedangkan domain option untuk model fluida maka dipilih yaitu :

- ❖ Turbulence Model : k-epsilon
- ❖ Heat Transfer Model : No Heat Transfer
- ❖ Bouyancy Model : Non - Bouyancy

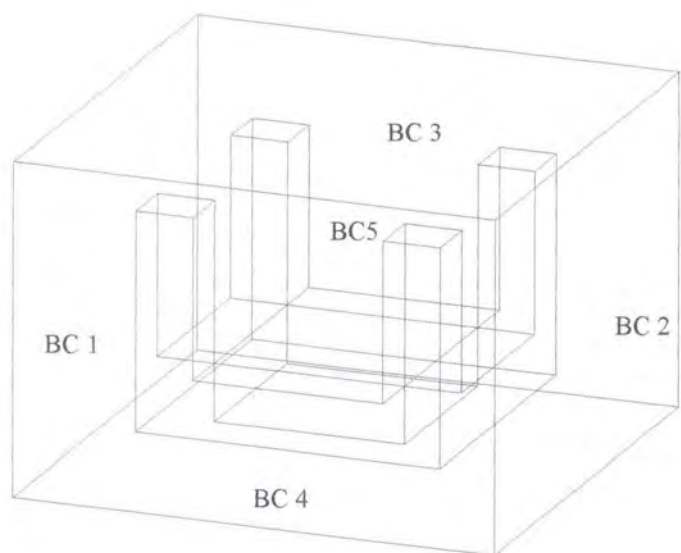
3.2.3. Penentuan Boundary Condition

Boundary condition pada CFD digunakan untuk menentukan sifat atau kondisi dari surface di *Fluid Domain* dan *Sub-Fluid Domain*. Untuk uji aliran fluida dengan menggunakan CFD, penentuan variable *boundary condition* disini sangat berperan. Dari bentuk geometri platform (solid) yang telah dibuat pada tahap *Geometri Modelling*. Langkah selanjutnya adalah penentuan *Boundary Condition*. Gambar 3.1 menunjukkan cara menentukan boundary condition untuk tipe *fluid boundary*, *solid boundary*, *fluid-solid interface*, *solid solid- interface*.



Gambar 3.3
Cara menentukan boundary condition (AEA Technology, plc)

Sedangkan model bentuk platform dapat dilihat pada gambar 3.4 dengan *boundary condition* yang telah dibuat.



Gambar 3.4
Geometri Platform Pemodelan secara Universal

Tabel 3.2. Identifikasi Boundary Condition Pada Model Platform

| Boundary Condition | Nama | Jenis | Geometri | Tipe |
|----------------------|---------|----------------|----------|--------|
| Boundary Condition 1 | Inlet | Fluid Boundary | solid | Inlet |
| Boundary Condition 2 | Outlet | Fluid Boundary | solid | Outlet |
| Boundary Condition 3 | Default | Fluid Boundary | solid | Wall |
| Boundary Condition 4 | Default | Fluid Boundary | solid | Wall |
| Boundary Condition 5 | Wall | Fluid Boundary | solid | Wall |

Dari kelima boundary condition diatas sudah dikenali oleh CFX sendiri karena pada CFX, boundary condition yang disediakan adalah tipe inlet, outlet, opening, wall, component model dan additional variabel detail.

❑ **Inlet**

Tipe Inlet dan data yang digunakan untuk dipilih pada geometri Inlet :

- Flow Regime : Subsonic
- Mass and Momentum : Normal Speed (Berdasarkan Nilai KC)
- Heat Transfer : -
- Temperatur : -



❑ Outlet

Tipe outlet dan data yang digunakan untuk dipilih pada geometri outlet :

Flow Regime : Subsonic

Mass and Momentum : Normal Speed (Berdasarkan Nilai KC)

❑ Wall

Tipe Wall dan data yang digunakan adalah

Wall type : Exterior wall

Wall influence on wall : No Slip (Stationary)

Wall roughness : Smooth wall

Heat transfer : -

3.2.4. Initial Condition

Initial condition disini merupakan tahapan atau kondisi awal yang diperlukan pada model berupa masukan data yang digunakan sebagai variable kecepatan awal fluida.

3.2.5. Meshing Geometri

Meshing geometri merupakan faktor utama dalam proses iterasi yang akan dilakukan sehubungan dengan pemodelan aliran fluida dengan CFD. Meshing disini mengikuti *default* software CFX yang selalu berubah secara otomatis, artinya menyesuaikan dengan kondisi onput data sebelumnya hingga mencapai model yang representatif. Pada bagian ini, model diskritisasi CFD yang harus disempurnakan adalah membangun mesh dimana proses ini sangat menentukan cepat lambatnya proses iterasi ke solver. Untuk analisa CFD, pada software CFX ini diberikan 2 macam bentuk mesh yaitu :

1. Advancing Front and Inflation (AFI)

Meshing yang dibentuk melalui software CFX-Builds.



2. Volume Mesh Import

Meshing yang didapatkan dari software lain seperti Fluent, Flow 3D, Patran dan lain-lainnya.

Pada software CFX-5.4.1 ini, meshing dibuat pada CFX-Builds digunakan berdasarkan diskritisasi elemen triangular atau tetrahedral. Sedangkan pada software CFX-5 Solver mampu menganalisa bentuk elemen 3D termasuk elemen prismatis, piramidal, hexahedral, dan hibrid mesh yaitu memakai lebih dari elemen-elemen tersebut dalam satu geometri. Dalam pemodelan ini yang perlu diperhatikan adalah :

1. Set Mesh Parameter

Pada tahapan ini, data yang dipakai bisa mengikuti *default* dari software namun kurang *smooth* untuk analisa fluidanya. Oleh karena itu, untuk konfigurasi pemodelan ini perlu modifikasi pada tahapan ini yakni memodifikasi *volume mesh spacing* dan *surface mesh spacing*. *Volume mesh meshing* umumnya untuk *edge length* yang akan digunakan untuk skala maksimum pada background volume mesh. Nilai *default*nya sebesar 1-5% dari ukuran geometri model. Sedangkan pada *surface volume mesh* terdapat 4 pilihan yaitu :

- ❖ Use Volume Spacing
- ❖ Angular Resolution
- ❖ Relatif Error
- ❖ Constant

Pada pemodelan ini volume mesh spacing digunakan yang maksimum dulu (5 %) dari geometri model lalu berkurang 4 % dan seterusnya hingga mencapai model yang representatif yang diinginkan. Hal ini ditunjukkan dengan



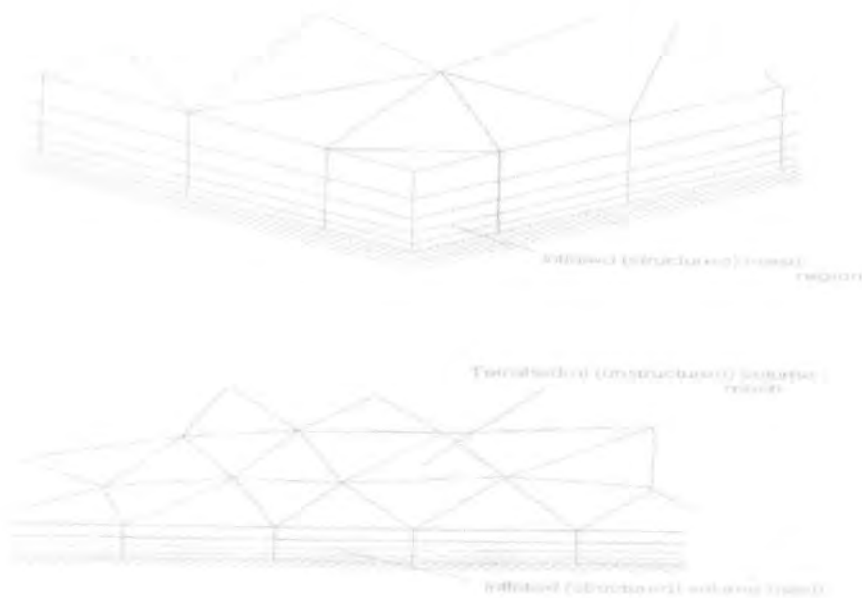
mendapatkan model geometri meshing yang halus pada model geometri hingga mencapai hasil visualisasi yang baik.

2. Set Inflation Parameter

Didaerah dekat dinding solid, efek *boundary* akan menyebabkan timbulnya gradient kecepatan lebih dari normalnya untuk *surface*. Untuk analisa numerik, efesiensi mesh pada daerah tersebut dibutuhkan *aspect ratio* yang tinggi per elemennya. Jika tetrahedal yang digunakan dengan *surface mesh* yang halus, yang perlu dihindari adalah munculnya distorsi elemen tetrahedral pada *surface*. Seperti pada gambar 3.3.

Oleh karena itu untuk amannya maka digunakan *triangular meshing* pada kasus ini karena mampu menyelesaikan distorsi elemen pada dinding *surface* pada gradient kecepatan. Untuk data inputan yang digunakan untuk menyelesaikan masalah ini maka mengikuti *default*-nya yaitu:

- ⊕ Number of layer : 5
- ⊕ Geometri Expansion Factor : 1.3
- ⊕ Infaltion Thickness Multiplier : 1
- ⊕ Advanced Quality Checking :
- a) Number of Spreading iteration : 0
- b) Minimum Internal Angel (degrees) : 2.5



Gambar 3.5
Struktur Inflated Volume Mesh (AEA Technology, plc)

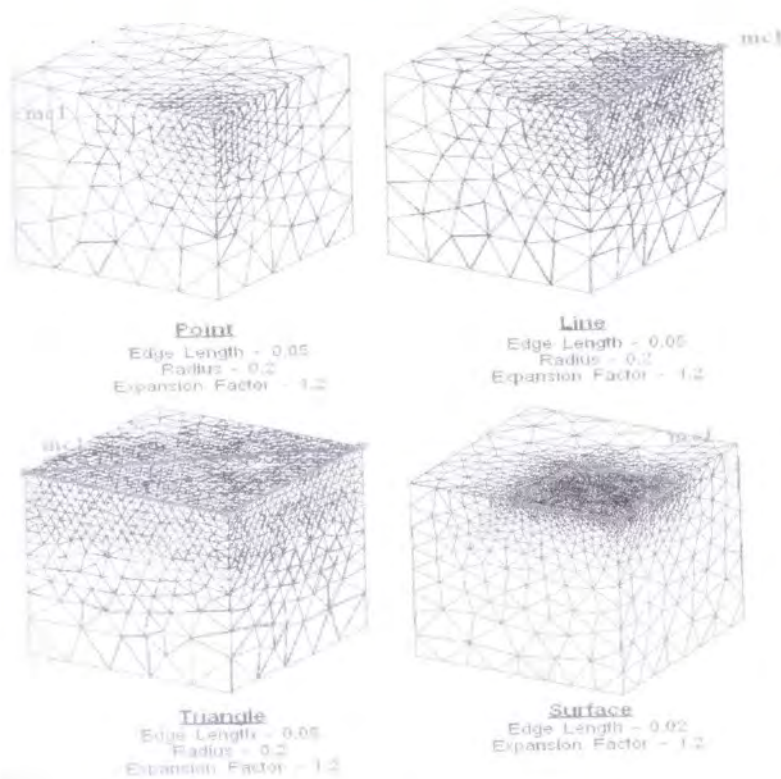
3. Mesh Control

Mesh control berfungsi sebagai optimalisasi bentuk meshing. Bentuk platform dimodelkan pada sebuah tunnel, untuk mengoptimalkan dan efisiensi meshing pada semua titik, tidak diperlukan meshing yang tinggi atau halus. Dengan menggunakan *mesh control* kita dapat menentukan daerah *surface* yang dibuat tinggi jumlah meshnya. Terdapat 4 tipe bentuk mesh yang ada pada CFX-Build yaitu :

- ⊕ Tipe Point
- ⊕ Tipe Line
- ⊕ Tipe Triangle
- ⊕ Tipe Surface



Pada gambar 3.6. ditunjukkan contoh bentuk meshing berdasarkan 4 tipe diatas.



Gambar 3.6
Empat (4) Bentuk Mesh Control (AEA Technology, plc)

4. Inflated Boundary

Pada tahapn ini kita menentukan surface yang akan dipilih untuk menjadi daerah *boundary condition*. Dan inputan yang diperlukan adalah menentukan inflation. CFX-Builds memberikan dua tipe untuk *inflated boundary* yaitu : *Boundary condition* dan *surface*. Pada tahap ini, nilai maksimum *thickness* akan muncul mengikuti *default* berdasarkan inputan data sebelumnya namun nilai ini bisa dimodifikasi sesuai kebutuhan.

Pada kasus pemodelan ini, *inflated boundary* menggunakan tipe *boundary condition*. Di tipe ini yang akan dipilih adalah tipe geometri dengan fluid boundary jenis dinding (wall).



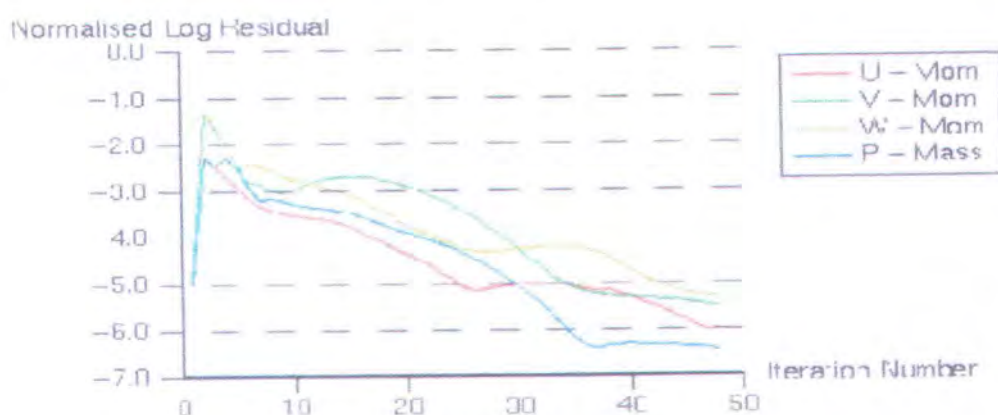
3.2.6. Solver Manager

Tahapan ini digunakan untuk menentukan *step iteration* yang diinginkan. *Step iteration* di CFX tersedia antara 10-1000. Pada pemodelan ini, *step iteration* yang dipakai adalah 30-50 kali dengan metode *timestep* bernilai 1

3.2.7. Definition File

Tahap ini berfungsi untuk menghimpun semua informasi dan data input yang akan digunakan sebagai variabel processing pada tahapan solver. Jika ada data input yang salah (*error*) maka secara otomatis akan diminta untuk men-set ulang data input yang akan diproses secara *default* dari software CFX.

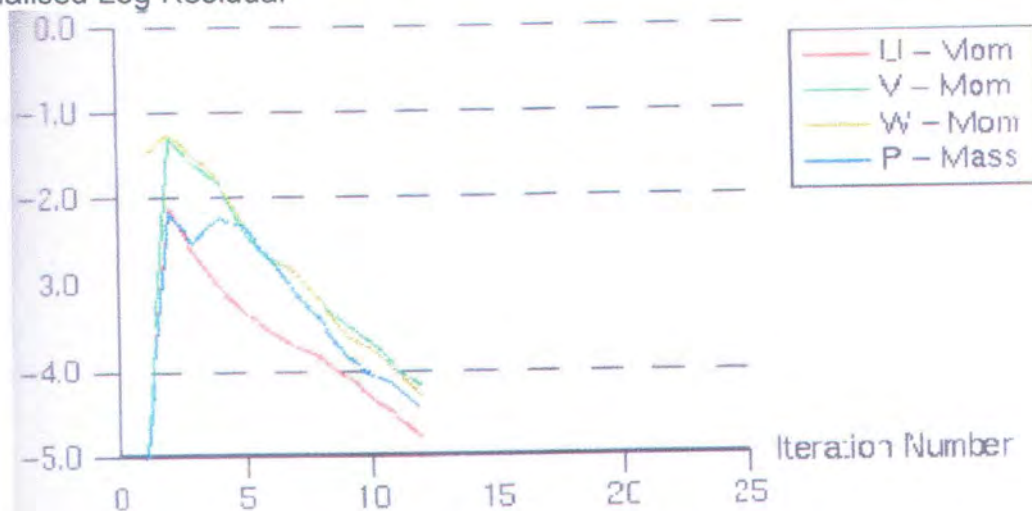
Jika pemodelan tersebut memenuhi syarat processing, maka langkah selanjutnya adalah menentukan itersai dengan *solver manager*. Dari tahap ini kita bisa mengetahui *convergensi* iterasi yang terjadi seperti yang terlihat pada gambar 3.7, yakni menunjukkan bentuk grafik *convergensi* yang baik, dan pada gambar 3.8 menunjukkan grafik *convergensi* yang cepat, serta pada gambar 3.9 yakni menunjukkan *convergensi* yang salah (*error*). Untuk kasus seperti pada gambar 3.9 maka variabel yang perlu diperbaiki adalah pada tahapan pre-processor.



Gambar 3.7 Grafik Convergensi Normal (AEA Technology, plc)

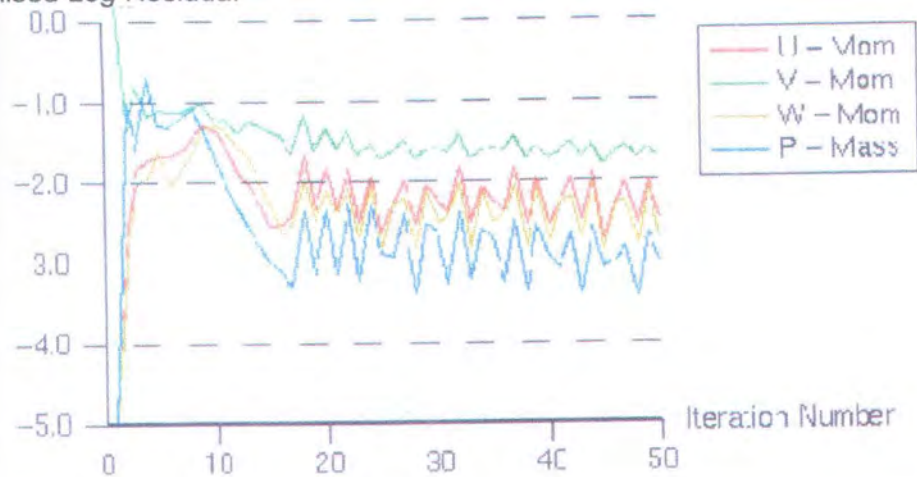


Normalised Log Residual



Gambar 3.8 Grafik Convergeni Cepat (AEA Technology, plc)

Normalised Log Residual



Gambar 3.9 Grafik Convergeni Salah (AEA Technology, plc)



Pada tahapan solver ini akan didapatkan hasil iterasi dan yang diambil adalah hasil iterasi berupa gaya yang terjadi di daerah platform. Selanjutnya pada tahap visualisasi, kita akan mendapatkan *image* dari fenomena aliran yang terjadi pada platform berupa distribusi tekanan, gradient tekanan, kecepatan, total tekanan dan lainnya.

3.3. Analisa Hasil

Analisa hasil disini diulas lebih mendalam pada BAB IV. Namun mengenai garis besarnya dapat diuraikan disini yakni :

1. Validasi

Untuk validasi analisa CFD yang berbasis pemodelan numerik perlu dilakukan validasi untuk menganalisa hasil percobaan atau simulasi yang dilakukan dengan menggunakan metode lain. Ada tiga tipe validasi yang harus dilakukan seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 2.

- ❑ *Convergence*
- ❑ *Grid Indepence*
- ❑ Verifikasi hasil dengan teori dan metode lain

2. Analisa meshing

Analisa meshing bertujuan untuk mendapatkan bentuk visualisasi yang halus dan mendapatkan model representatif. Untuk mendeteksi hasil meshing yang bagus, dapat dilihat dengan kerapatan *vector visualisasi*, distribusi sifat fluida dengan *surface visualisasi* dan *stream visualisasi*.



3. Analisa data

Analisa data yakni dengan mengambil data dari perhitungan numerik yang dilakukan pada tahap CFX solver dan CFX visualisasi dengan mengacu pada proses validasi dan analisa meshing.

4. Analisa sifat fluida disekitar platform

Analisa sifat fluida disekitar platform adalah menerjemahkan *image* dari fenomena aliran fluida (*incompressible*) yang terjadi terhadap platform dengan adanya variable dari kecepatan fluida dan sudut datang (*angle of attack*).

Sifat fluida yang akan dianalisa disini antara lain :

- *Density*
- *Eddy Viscosity*
- ☐ Tekanan
- ☐ Gradient tekanan
- ☐ Total tekanan
- ☐ Kecepatan

5. Analisa Grafik

Analisa grafik adalah mempresentasikan data dari analisa mesh yang representatif sehingga dijadikan acuan dalam pemodelan selanjutnya dan analisis grafik yang diperoleh dari software dengan data yang diperoleh dari teotitis.

Adapun Grafik yang dibuat adalah :

- ❖ Grafik Pressure Vs Mesh Size
- ❖ Grafik Gaya Gelombang Maksimum Vs KC



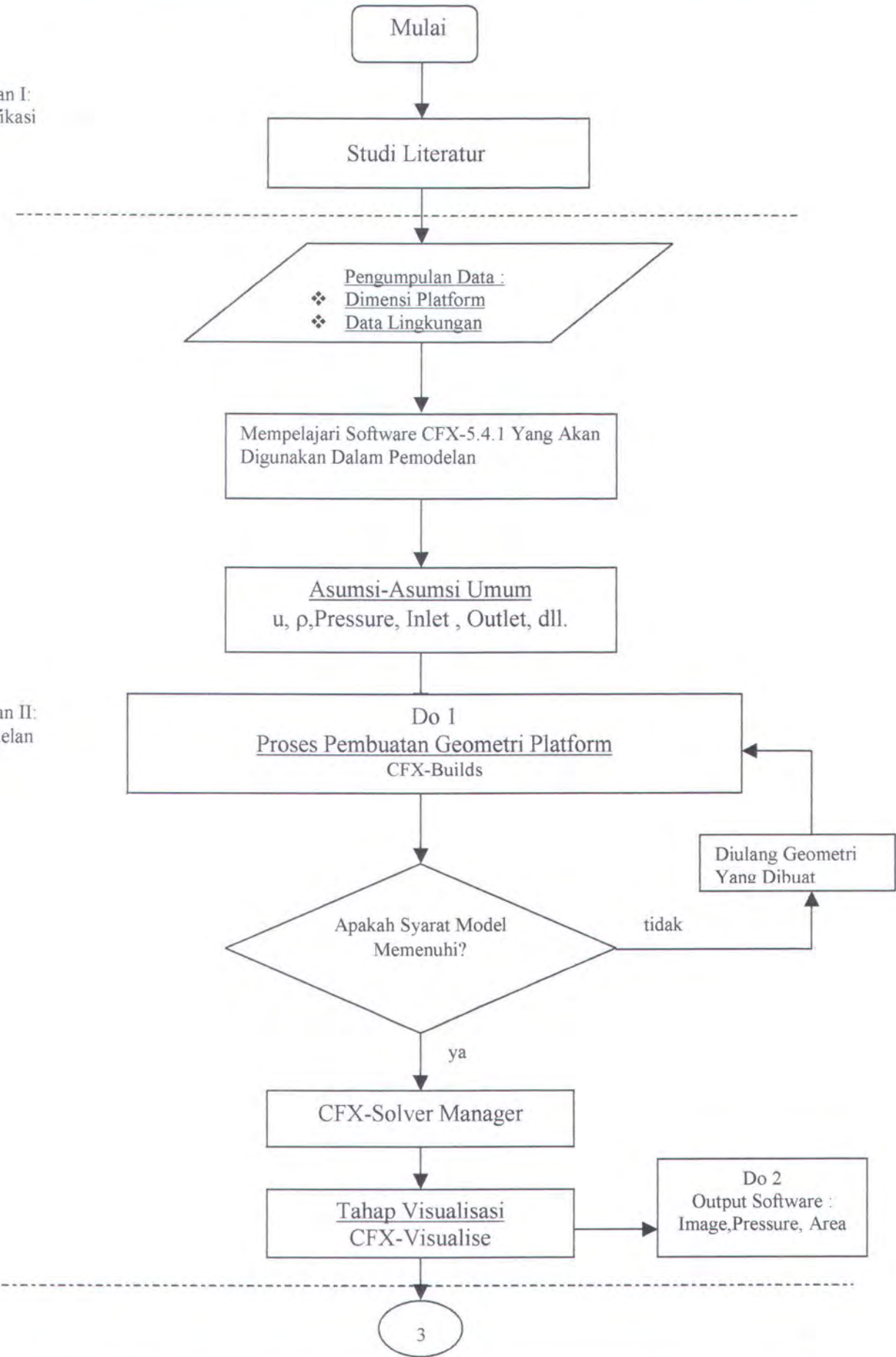
6. Analisa fenomena aliran fluida disekitar platform

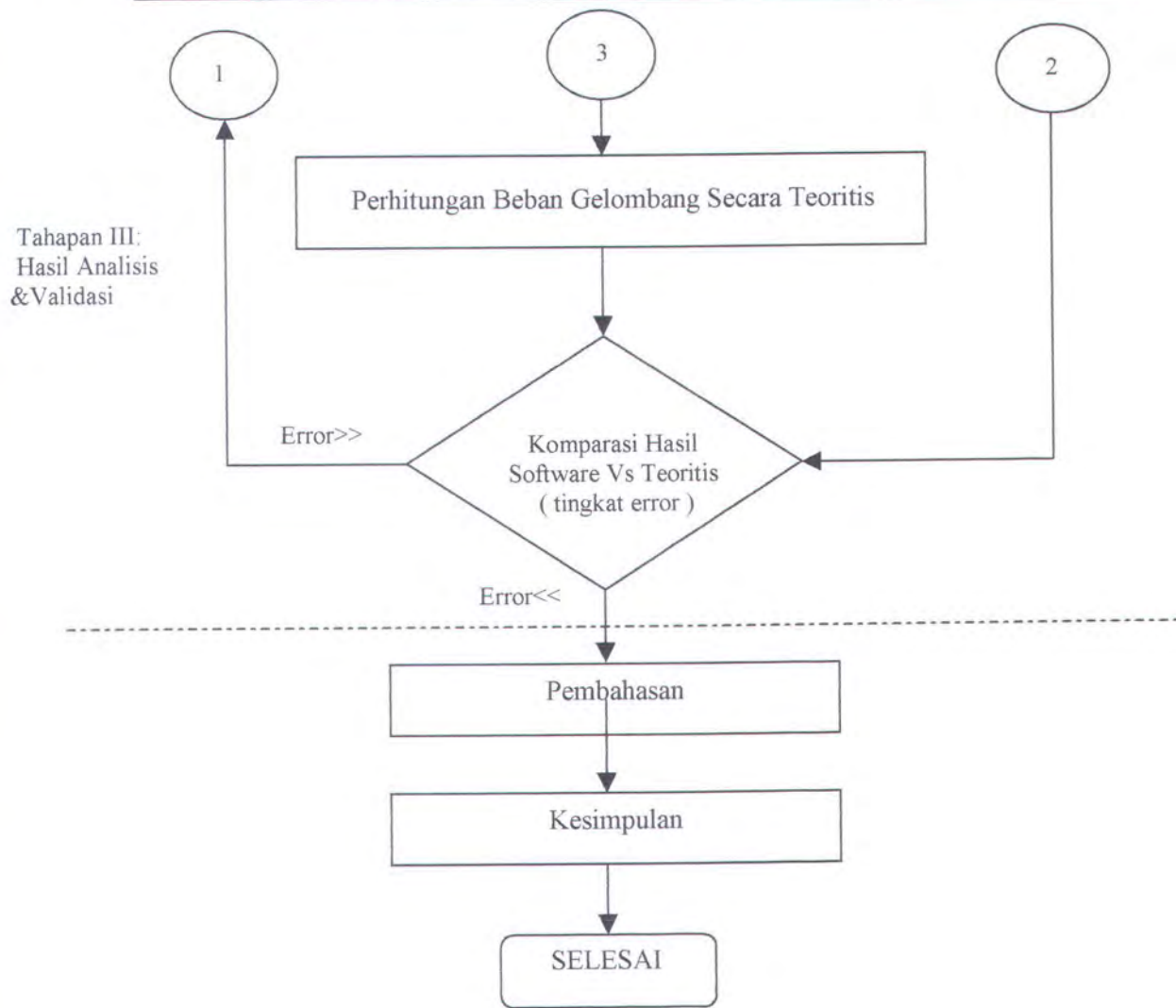
Analisa fenomena aliran untuk kasus ini merupakan analisa yang dilakukan untuk mengetahui fenomena aliran yang terjadi disekitar platform pada arah sudut datang 0° , 45° dan 90° .



Tahapan I:
Identifikasi

Tahapan II:
Pemodelan





Gambar 3.10.
Flowchart Metode Penelitian



BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Al-Quran ini adalah penjelasan yang sempurna bagi manusia agar mereka diberi peringatan dengannya, agar mereka mengetahui bahwa Dia adalah Tuhan Yang Maha Esa, dan agar orang-orang berakal mengambil pelajaran (Q.S. Ibrahim 14: 52)



BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Validasi Geometri Model

Untuk mendapatkan hasil yang akurat dan memastikan ketepatan prosedur penyelesaian masalah dan pengambilan data, maka perlu dilakukan validasi. Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya tentang validasi, terdapat tiga cara untuk validasi dalam analisa CFD yaitu : *convergence*, *grid independence* dan verifikasi hasil dengan teori atau data lain.

4.1.1. *Convergence*

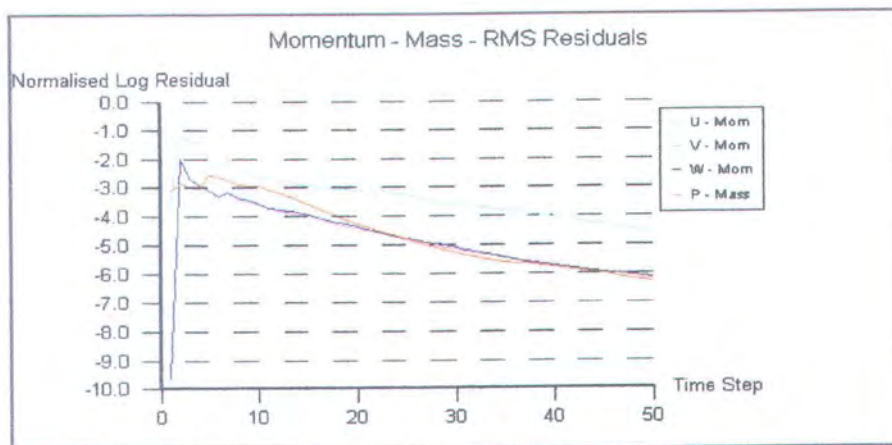
Convergence adalah sifat metode numerik untuk menyelesaikan eksakta dengan *grid spacing*, ukuran control volume atau ukuran elemen hingga dikurangi mendekati nol. Pada tahap ini proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan belum memenuhi tingkat kesalahan yang diijinkan, maka komputasi akan terus berjalan. Di CFX Solver hasil dari persamaan pengendalinya ditampilkan dalam bentuk grafik. Gambar 4.1.a menunjukkan konvergensi normal dari iterasi di solver untuk RMS Residual (momentum dan mass).

Dengan persamaan kekekalan massa (2.40) dan dinyatakan dengan persamaan yang ada di Software CFX (2.55) bentuk grafik $P = \text{mass}$ (berwarna merah) telah ditunjukkan konvergensinya. Persamaan kekekalan momentum (2.45), (2.46), (2.47) yang dinyatakan dengan persamaan di software CFX (2.54), serta persamaan kekekalan momentum ke arah x ($u = \text{mom}$), y ($v = \text{mom}$) dan z ($w = \text{mom}$) dengan jelas ditunjukkan juga pada grafik

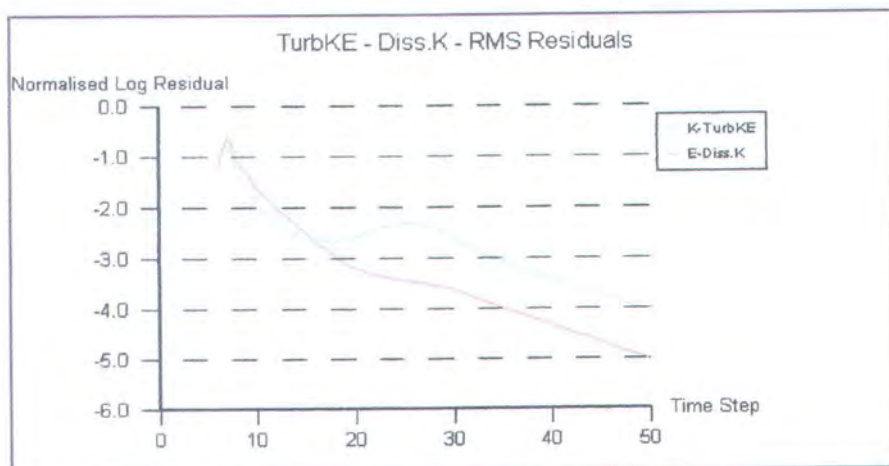


dibawah., garis berwarna merah menunjukkan penurunan *Normal Log Residuals* dan pada *time step* kurang dari 50 akan berhenti. Sedangkan gambar 4.1.b menunjukkan penurunan grafik model turbulensi $k - \epsilon$.

Sebagai contoh hasil numerik untuk kasus pemodelan ini dapat digunakan karena grafik ini sesuai dengan anjuran dari software CFX-5.4.1 seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya mengenai bentuk yang benar dari grafik konvergensi normal dan dapat dibandingkan dengan gambar 3.7. tentang konvergensi normal.



Gambar 4.1.a. Grafik RMS Residual (Momentum dan Massa)



Gambar 4.1.b. Grafik Model Turbulensi $k - \epsilon$



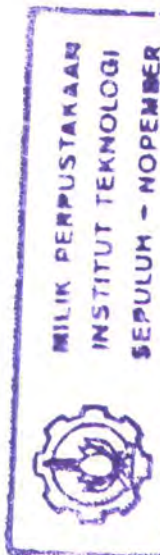
Dari gambar 4.1.a, dan 4.1.b dapat diketahui bahwa dalam percobaan yang dilakukan membutuhkan 50 timestep untuk setiap iterasi. Dimana semakin banyak time step yang dicapai dalam setiap iterasi maka tingkat kesalahan yang ada pada percobaan yang dipakai semakin kecil, karena semakin timestep yang dicapai semakin besar maka tingkat keakuratan dalam setiap perhitungan dalam software CFX 5.4.1 semakin tepat. Hal ini terlihat pada gambar 4.1.a dimana grafik iterasi dari momentum-massa (*RMS Residuals*) semakin turun. Tetapi setiap percobaan tidak selalu mencapai yang diinginkan, seringkali dalam percobaan itu terjadi pencapaian maksimum dalam iterasi walaupun dalam percobaan itu diinginkan jumlah iterasi yang besar.

Berdasarkan grafik validasi yang akan digunakan, maka pada tahap Solver ini sebanyak 6 titik harus dicari hasil iterasinya dengan 3 sudut masuk yang berbeda (0° , 45° dan 90°) dan 6 variasi kecepatan gelombang yang berbeda, sehingga membutuhkan sebanyak 72 kali iterasi. Dari beberapa iterasi yang ada tersebut maka akan dihasilkan sejumlah titik yang menggambarkan fenomena fluida yang berbeda-beda. Hasil itersai semua titik tersebut menunjukkan kemiripan grafik konvergensi seperti gambar 4.1.a.

4.1.2. *Grid Independence*

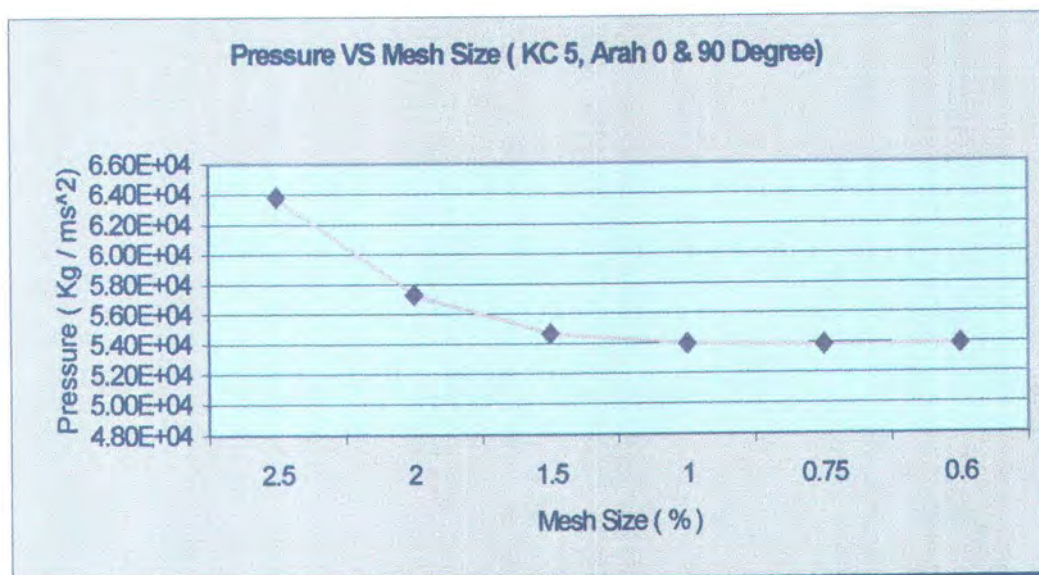
Besarnya jumlah *cell* yang kita gunakan dalam perhitungan menentukan keakuratan hasil yang didapat. Akan tetapi jumlah *cell* yang banyak tidak selamanya akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian jumlah *cell* yang optimum dituntut untuk dapat ditentukan, agar waktu dan memori komputer yang terpakai tidak terlalu besar.

Untuk mendapatkan jumlah *cell* yang optimal dilakukan dengan cara bervariasi jumlah *cell* dengan mengatur *mesh parameter* dan *mesh control*

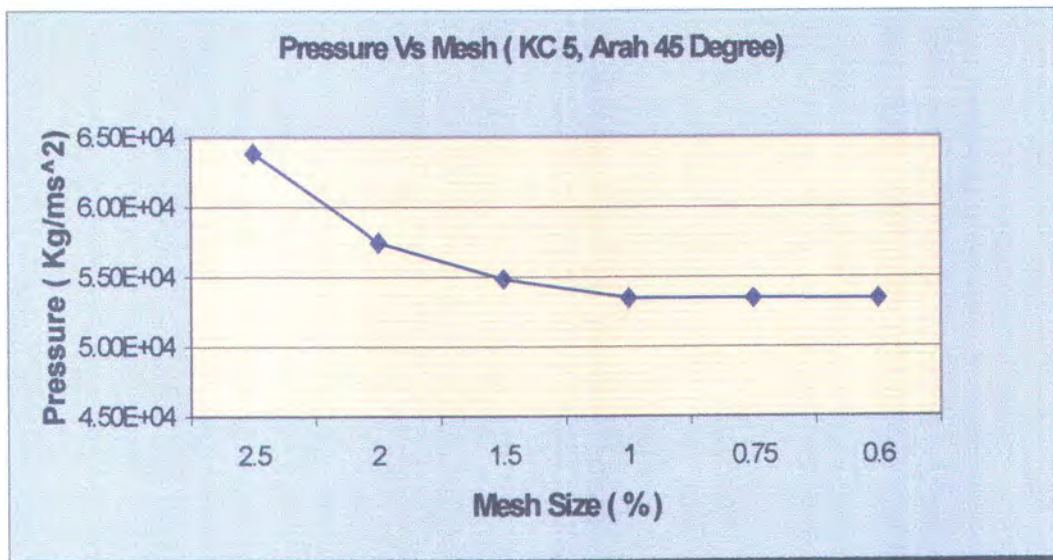




untuk satu titik simulasi. Bila perubahan *cell* sudah tidak mempengaruhi hasil atau nilai akhir iterasi, maka dipilih jumlah *cell* yang paling rendah. Misalkan pada KC 5 pada arah sudut datang 0° dan 90° untuk *surface edge length* : 2.5, 2, 1.5, 1, 0.75, dan 0.6 dimana masing-masing *surface edge length* tersebut menghasilkan nilai tekanan maksimum 63795.3 Kg/ms², 57297.6 Kg/ms², 54658 Kg/ms², 53956.9 Kg/ms², 53854.5 Kg/ms², dan 53766.7 Kg/ms². Begitu juga untuk KC 5 pada arah sudut datang 45° untuk untuk *surface edge length* : 2.5, 2, 1.5, 1, 0.75, dan 0.6 dimana masing-masing *surface edge length* tersebut menghasilkan nilai tekanan maksimum 63845.8 Kg/ms², 57487.1 Kg/ms², 54857.9 Kg/ms², 53455.3 Kg/ms², 53415 Kg/ms², dan 53319.8 Kg/ms². Dari 2 hasil percobaan diatas maka *grid* optimal dipilih *surface edge length* bernilai 0.6. Untuk lebih optimalnya tentang validasi jumlah *cell* atau *grid* yang optimal dapat dilihat pada gambar 4.2.a, 4.2.b.



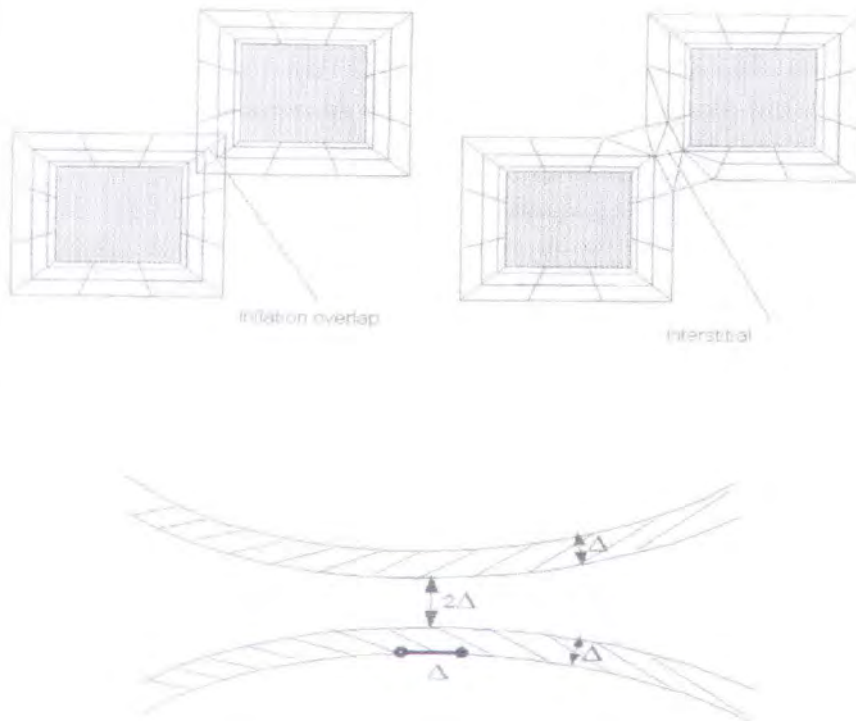
Gambar 4.2.a. Grafik Pressure Vs Mesh Size Pada KC 5 , arah 0° & 90°



Gambar 4.2.b. Grafik Pressure Vs Mesh Size Pada KC 5 , arah 45°

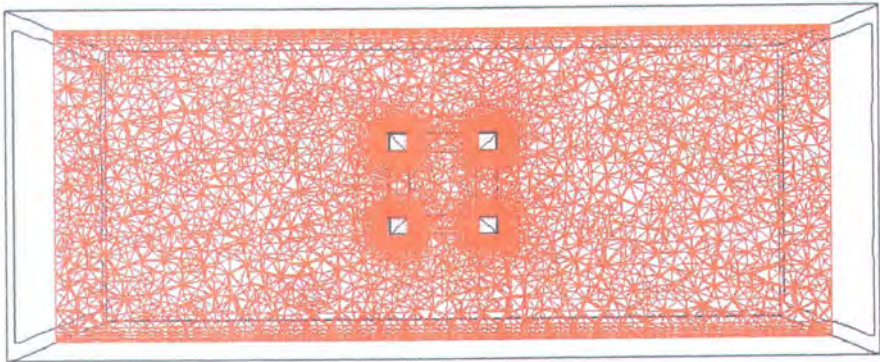
Dari percobaan yang dilakukan, diketahui terdapat fenomena menarik. Untuk jumlah cell yang banyak atau renggang untuk semua sudut masuk pada tahap solver ini sering terjadi premature iterasi seperti yang terlihat pada gambar 3.8. yang menggambarkan konvergensi terlalu dini, namun pada iterasi selanjutnya tidak mengalami divergensi dan mulai membentuk model grafik konvergensi yang benar, seperti yang terlihat pada gambar 4.1.a. Meskipun demikian, ketelitian menentukan *mesh control* dan *inflated boundary* tetap perlu dilakukan.

Adapun fenomena yang tidak diinginkan adalah terjadinya prematur iterasi yang berulang-ulang, terjadinya *inflation overlap* dan *inflation gap*, karena adanya kesalahan didalam pemilihan atau penentuan *grid* pada *mesh control* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 dibawah ini :



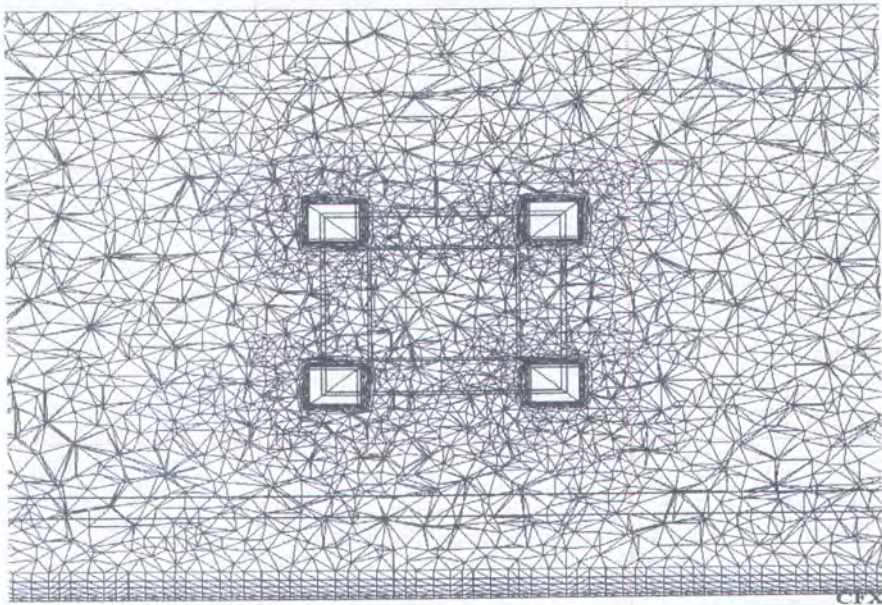
Gambar 4.3. Inflation Layer Interstitial dan Inflation Gap (AEA Technology, plc)

Untuk kasus pemodelan dengan jumlah *cell* banyak atau *grid* yang rapat ditunjukkan pada gambar 4.4.a, dimana posisi platform berada ditengah domain dengan komposisi volume meshing lebih rapat. Sedangkan gambar 4.4.b. menunjukkan *grid* yang lebih besar atau renggang pada domain. Adapun gambar yang menunjukkan bentuk dari meshing untuk kasus pada percobaan dengan CFX-5.4.1 ini dapat dilihat pada beberapa gambar yang ada berikut ini yaitu :



CFX

Gambar.4.4.a. Meshing Rapat Ditengah Domain (2 D)



CFX

Gambar.4.4.b. Meshing Besar Ditengah Domain (2 D)



4.2. Analisa Data

Data hasil perhitungan CFD di *CFX-Visualise* akan menghasilkan bentuk informasi yang dapat diambil berupa numerik dan grafis. Setiap titik yang disimulasikan menghasilkan data tentang variabel sifat-sifat fluida. Data yang dipakai adalah data yang telah divalidasi seperti yang dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Adapun bentuk data di *CFX-Visualise* adalah :

Data export terdiri data *locator to export* dan *variable to export*. Data ini menunjukkan nilai numerik yang terdapat pada bagian *surface* yang dikenai *Boundary condition* dengan nilai berupa variabel berupa tekanan, *density*, dan lain-lainnya. Lihat tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data export: Locator, Variable dan Write Vector

| Locator to export | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1. Inlet | 3. Platform |
| 2. Outlet | 4. Default |
| Variable to export | |
| 1. Density | 7. Turbulence Kinetic Energy |
| 2. Eddy viscosity | 8. Velocity |
| 3. Pressure | 9. Volume of Finite Volume |
| 4. Pressure Gradient | 10. Wall shear |
| 5. Turbulence Eddy Dissipation | 11. Yplus |
| 6. Volume Fraction | 12. Coordinate |
| Write Vector as | |
| 1. All component | 3. X Component only |
| 2. Magnitude | 4. Y Component only |
| | 5. Z Component only |



Data export diatas memberikan informasi nilai secara numerik yang terdapat di beberapa titik pada *surface* yang dipilih. Nilai tersebut menunjukkan (x, y, z) yang berada pada *surface* yang dikenai sebagai *boundary condition* dan memiliki nilai variabel yang kita pilih. Contoh data export yang diambil di CFX-Visualise dapat dilihat pada lampiran 3. Dalam hal ini tidak semua variabel dari data export digunakan didalam analisa fluida, karena ada beberapa variabel yang tidak ditunjukkan suatu perubahan nilai numerik yang berarti misalnya : Y plus dan coordinate.

□ Quantitative Calculation

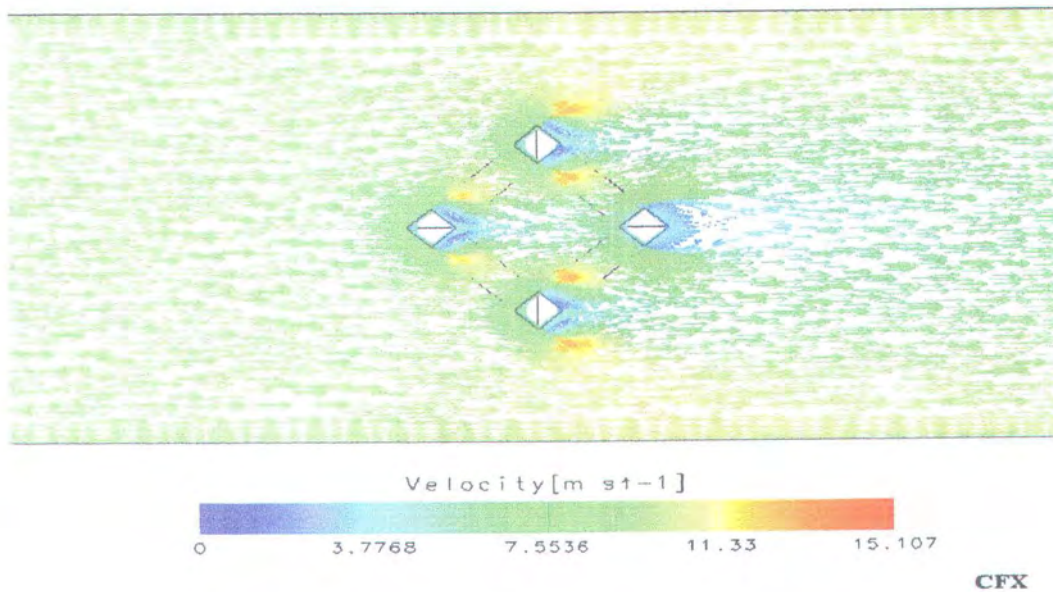
Quantitative calculation menghasilkan nilai numerik variabel yang dipilih. Berbeda dengan data export, nilai numerik yang didapat disini adalah nilai maksimum, minimum dan rata-rata dari variabel yang dipilih pada locator atau *surface* yang dikenai *boundary condition* pada tahap *pre-processor*. Misalkan untuk mengetahui besar tekanan maksimum, minimum dan rata-rata pada locator platform dapat dilihat di *quantitative calculation*. Contoh hasilnya dapat dilihat pada lampiran 2.

Format variasi data sama dengan data export yaitu : locator dan variabel sama dengan tabel 4.1. Dalam hal *write vector* tidak ada, akan tetapi CFX-Visualise memberikan tambahan kombinasi variabel yaitu untuk ; *velocity*, *volume fraction* dan *density*.

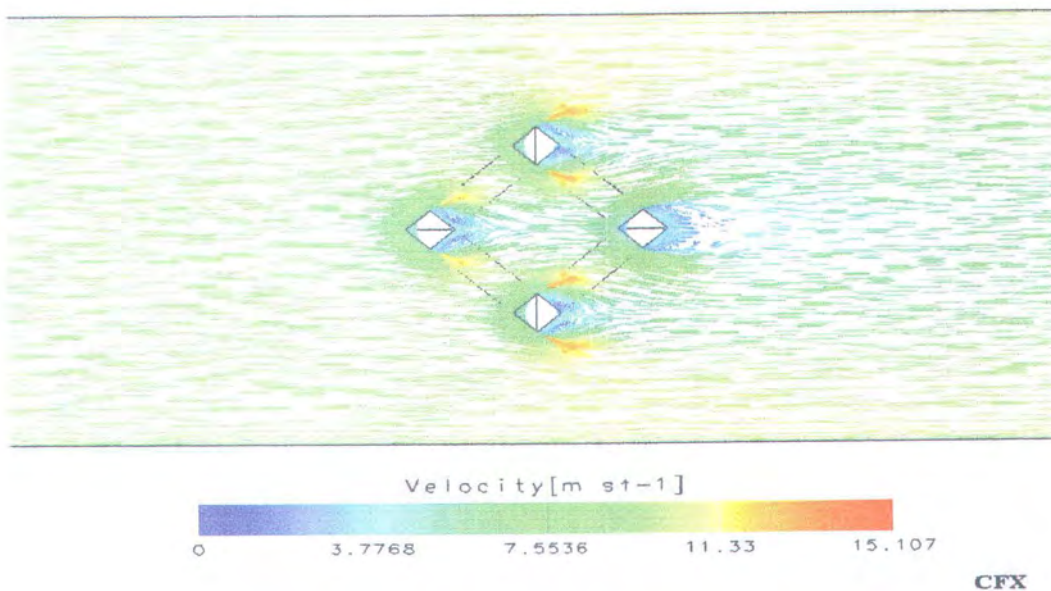
□ Visualisasi Grafis

Visualisasi grafis adalah informasi tentang adanya fenomena aliran dari sifat fluida dalam bentuk grafis. Visualisasi pada CFX-Visualize ada tiga (3) macam bentuk yakni visualisasi *vektor*, *stream* dan *surface*. Contoh dari hasil visualisasi grafis dapat dilihat pada gambar 4.5 a. yang merupakan fenomena

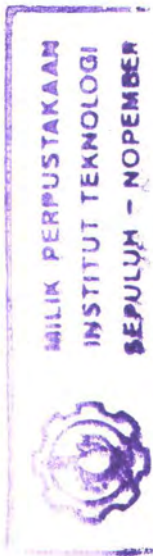
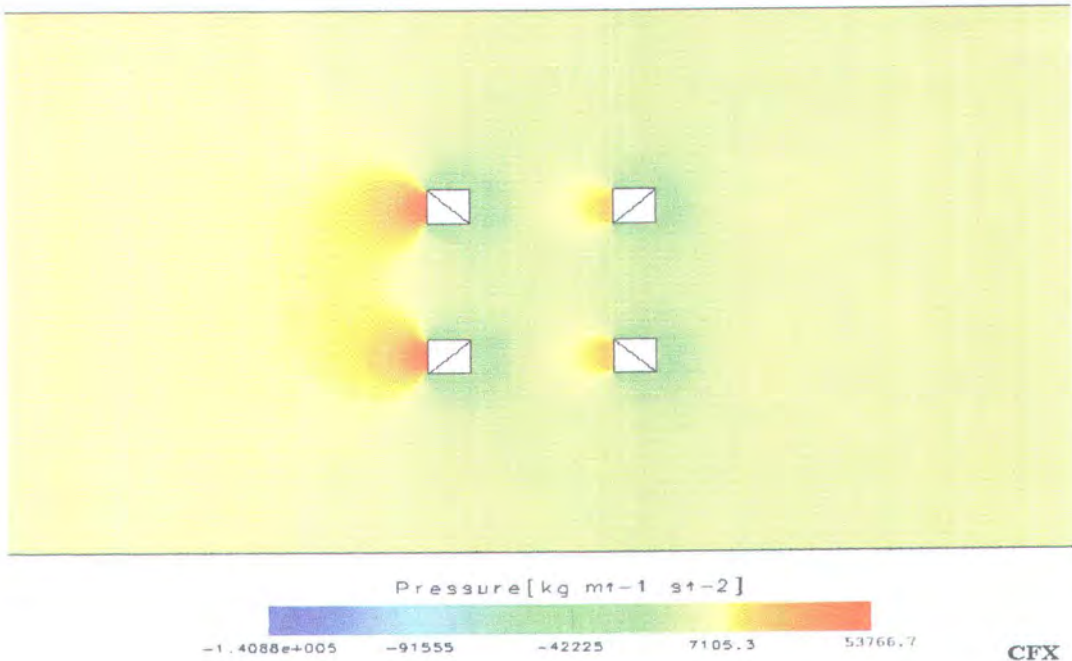
dengan visualisasi grafis *vektor*. Visualisasi grafis *stream* dapat dilihat pada gambar 4.5.b dan untuk visualisasi grafis *surface* dapat dilihat pada gambar 4.5.c.



Gambar 4.5.a. Contoh Visualisasi Kecepatan Dengan Background Vektor



Gambar 4.5.b. Contoh Visualisasi Kecepatan Dengan Background Streamline



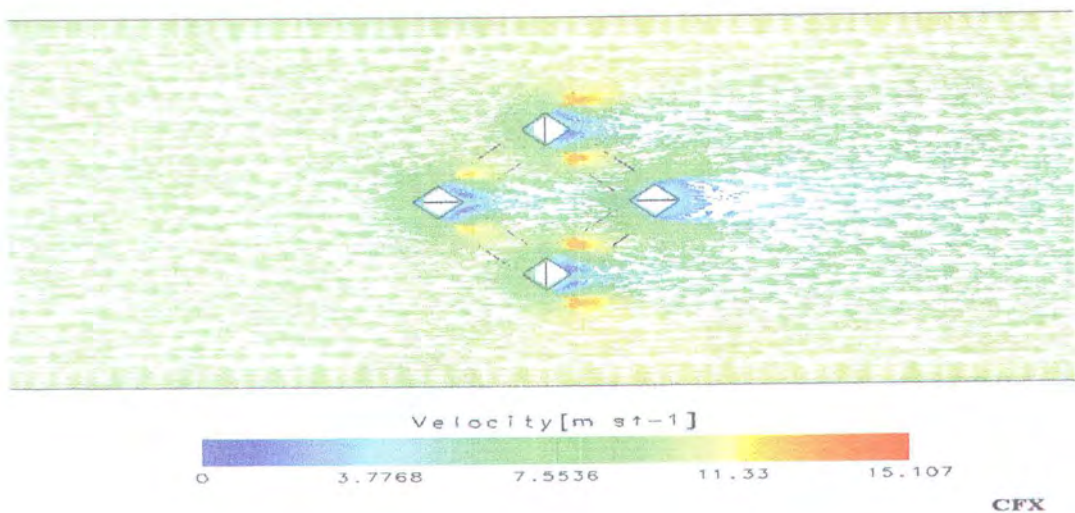
Gambar 4.5.c. Contoh Visualisasi Kecepatan Dengan Background Surface

Meshing tipe *triangle*, *line* dan *point* kerapatan *grid*nya semakin berkurang dibandingkan dengan tipe *surface* yang cenderung menyebar secara *uniform* diseluruh permukaan platform. Pemilihan tipe *surface* setelah data di kirim ke *solver* tidak terdapat kesalahan baik dari segi *inflated gap* dan *uniform overlap*. Sebaliknya untuk ketiga tipe lainnya akan muncul kesalahan tersebut. Hal ini disebabkan karena adanya jarak yang terjadi antara dua solid menjadi sangat dekat, yaitu antara solid-platform sebagai wall dengan solid-default sebagai domain.

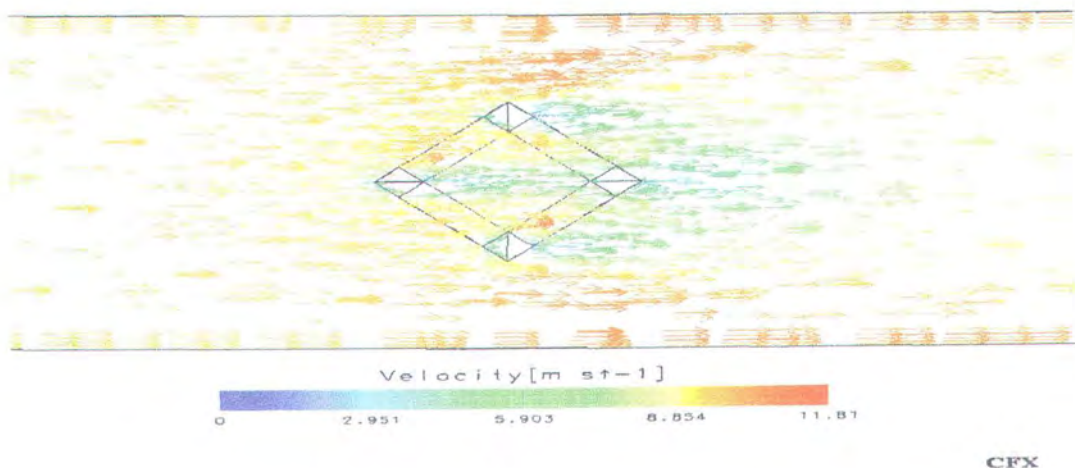
Tipe *surface* yang telah dipilih tersebut akan menghasilkan bentuk visualisasi di tahap post-processor seperti gambar 4.6.a. posisi platform ditengah domain dengan *surface edge length* : 0.6 (*grid* rapat atau *cell* banyak) dan pada gambar 4.6.b. dengan menggunakan *surface edge length* : 2.5 (*grid* renggang atau *cell* sedikit). Dalam hal ini, jumlah dari aliran vektor kecepatan dapat dilihat



tingkat kerapatannya. Sedangkan pada gambar 4.6.a dengan *grid* besar atau *cell* yang sedikit pada tahap post-processor, kerapatan semakin berkurang, akibatnya bentuk *leading edge* tidak *arounded* tetapi berbentuk tajam dan vektor menembus model dari platform. Maka untuk hasil numerik yang ditunjukkan pada gambar 4.6.b. tidak dapat dipakai untuk percobaan pada semua titik.



Gambar 4.6.a. Fenomena Aliran Platform Dengan Cell Banyak – Surface Edge Length = 0.6



Gambar 4.6.b. Fenomena Aliran Platform Dengan Cell Sedikit – Surface Edge Length = 2.5



4.3. Analisa Sifat Fluida Di Sekitar Platform

Analisa sifat fluida di sekitar silinder bertujuan untuk menjelaskan fenomena aliran yang terjadi terhadap platform yang dialiri fluida *incompressible* dengan variasi sudut masuk gelombang terhadap bentuk platform. Analisa disini dilakukan dengan pendekatan visualisasi grafis dalam bentuk *vektor*, *stream*, dan *surface*. Sifat-sifat fluida yang akan dianalisa disekitar platform adalah :

- *Density*
- *Eddy Viscosity*
- *Tekanan (Pressure)*
- *Gradient Tekanan (Pressure Gradient)*
- *Total Tekanan (Total Pressure)*
- *Kecepatan (Velocity)*

4.3.1. Density

Hukum kekekalan massa menyatakan kesimbangan massa elemen fluida yang masuk dan keluar elemen adalah sama sedangkan hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa perubahan momentum yang terjadi pada partikel fluida adalah sama dengan jumlah gaya-gaya pada partikel tersebut. Persamaan hukum tersebut dapat dilihat pada persamaan (2.40) sampai (2.48).

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa massa jenis (ρ) akan berpengaruh terhadap kedua hukum tersebut. Untuk fluida *incompressible*, perubahan massa jenis terhadap perubahan waktu akan mempengaruhi besar momentum dan energi.



4.3.2. Eddy Viscosity

Pemodelan turbulen pada fluida dapat dilakukan dengan dua cara yaitu *classical model* dan *large eddy simulations*. *Classical model* menggunakan pendekatan persamaan Reynold, sedangkan *large eddy simulations* (LES) menggunakan persamaan *space-filtered* yang mampu menerjemahkan turbulen pada daerah laminar. CFD code yang dipakai menggunakan *large eddy simulations* untuk efisiensi model turbulen.

4.3.3. Tekanan (*Pressure*)

Distribusi tekanan disekitar platform dapat dilihat pada lampiran 7. Pada gambar tersebut diilustrasikan bagaimana fenomena tekanan yang terjadi disekitar platform dan arah tekanannya. Dan juga diperlihatkan tentang kontur tekanan yang terjadi akibat adanya kekuatan fluida masuk pada domain platform. Tekanan disini melemah setelah berada pada belakang platform.

4.3.4. Gradien Tekanan (*Pressure Gradient*)

Distribusi *gardient tekanan* dapat dilihat pada lampiran 9. *Gradient tekanan* yang terbesar terdapat pada muka platform, dimana hal ini menunjukkan tekanan maksimum terdapat pada daerah depan platform.

4.3.5. Total Tekanan (*Total Pressure*)

Total tekanan untuk platform dengan sudut masuk 0° , 45° dan 90° dapat dilihat pada lampiran 12. Untuk mendapatkan gaya lift, tekanan fluida dipermukaan platform berpengaruh. Total tekanan disekitar daerah belakang platform akan mendekati nilai nol dan didepan platform total tekanan bernilai positif yang secara langsung akan menaikkan nilai gaya lift.



4.3.6. Kecepatan (*Velocity*)

Lampiran 5 menunjukkan tentang fenomena dari pengaruh kecepatan yang terjadi. Pada tiap kecepatan tersebut memiliki fenomena yang cukup sama namun untuk kecepatan yang tinggi tidak terlihat adanya fenomena *wake* dibelakang platform karena tekanan dari sisi domain cukup kuat. Fenomena kecepatan tiap tahap (*timestep*) pada KC 5 arah sudut datang 0° selama mengenai platform dapat ditunjukkan pada lampiran 6. Pada KC yang semakin besar (7 – 30) terdapat arah vektor kecepatan yang berputar balik (negatif) atau disebut sebagai *blockage effect*, yang dinamakan sebagai *vortex shedding*. Hal ini sangat berbahaya bila daerah putaran vektor kecepatan rendah tersebut semakin besar yang akibatnya akan kekeurangan gaya lift yang akan berpengaruh terhadap stabilitas.

4. 4. Analisa Grafis

Pada tahapan analisa grafis merupakan tahapan untuk mempresentasikan data-data hasil eksperimen yang telah dilakukan dan telah dipilih serta memenuhi validasi, kemudian data-data tersebut diplotkan dalam grafik non-dimensional. Dalam hal ini, grafik yang akan dibuat dan dianalisa adalah :

- ❖ Grafik gaya maksimum gelombang secara software Vs KC arah sudut datang 0° dan 90° .
- ❖ Grafik gaya maksimum gelombang secara teoritis Vs KC arah sudut datang 0° dan 90° .
- ❖ Grafik perbandingan software dan teoritis arah sudut datang gelombang 0° dan 90°



- ❖ Grafik gaya maksimum gelombang secara software Vs KC arah sudut datang 45° .
- ❖ Grafik gaya maksimum gelombang secara teoritis Vs KC arah sudut datang 45° .
- ❖ Grafik perbandingan software dan teoritis arah sudut datang gelombang 45°

Pada tiap-tiap eksperimen memiliki nilai gaya *lift* kearah sumbu y dan gaya Drag kearah sumbu x serta nilai momen sebagai besaran gradient. Dalam tahap perhitungan, selain dilakukan perhitungan dengan software, juga dilakukan perhitungan secara teoritis

4.4.1. Arah Sudut Datang 0° dan 90°

A. Berdasarkan Software

Tabel 4.2.a. KC 5

| Nama | Pressure (Kg/ms ²) | Area (m ²) | Gaya Total (Kgm/s ²) |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Wall Kanan Depan | 53766.7 | 1115.9 | 59998260.53 |
| Wall Kiri Depan | 53425.4 | 1115.9 | 59617403.86 |
| Wall Kanan Belakang | 47048.8 | 1115.9 | 52501755.92 |
| Wall Kiri Belakang | 47482.5 | 1115.9 | 52985721.75 |
| Ponton Belakang | 12103.9 | 1509.12 | 18266237.56 |
| Ponton Depan | 53689.7 | 1509.12 | 81024200.06 |
| Ponton Kanan | 17127.5 | 1509.12 | 25847452.80 |
| Ponton Kiri | 16209.1 | 1509.12 | 24461476.99 |
| | | Jumlah | 374702509.48 |

Tabel 4.2.b. KC 10

| Nama | Pressure (Kg/ms ²) | Area (m ²) | Gaya Total (Kgm/s ²) |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Wall Kanan Depan | 74360 | 1115.9 | 82978324.0 |
| Wall Kiri Depan | 74492 | 1115.9 | 83125622.8 |
| Wall Kanan Belakang | 52548.7 | 1115.9 | 58638313.2 |
| Wall Kiri Belakang | 52860 | 1115.9 | 58986474.0 |
| Ponton Belakang | 12803 | 1509.12 | 19321263.4 |
| Ponton Depan | 72788.7 | 1509.12 | 109846882.9 |
| Ponton Kanan | 17241.9 | 1509.12 | 26020096.1 |
| Ponton Kiri | 16257.5 | 1509.12 | 24534518.4 |
| | | Jumlah | 458308314.8 |



Tabel 4.2.c. KC 15

| Nama | Pressure (Kg/ms^2) | Area (m^2 | Gaya Total (Kgm/s^2) |
|---------------------|---------------------|------------|-----------------------|
| Wall Kanan Depan | 90426 | 1115.9 | 100906373.40 |
| Wall Kiri Depan | 89282 | 1115.9 | 99629783.80 |
| Wall Kanan Belakang | 55074 | 1115.9 | 61457076.60 |
| Wall Kiri Belakang | 55080 | 1115.9 | 61463772.00 |
| Ponton Belakang | 13611 | 1509.12 | 20540632.32 |
| Ponton Depan | 74630 | 1509.12 | 112625625.60 |
| Ponton Kanan | 18524 | 1509.12 | 27954938.88 |
| Ponton Kiri | 13799.8 | 1509.12 | 20825554.18 |
| | | Jumlah | 505403756.78 |

Tabel 4.2.d. KC 20

| Nama | Pressure (Kg/ms^2) | Area (m^2 | Gaya Total (Kgm/s^2) |
|---------------------|---------------------|------------|-----------------------|
| Wall Kanan Depan | 109600 | 1115.9 | 122302640.00 |
| Wall Kiri Depan | 91307.4 | 1115.9 | 101889481.30 |
| Wall Kanan Belakang | 57085 | 1115.9 | 63701151.50 |
| Wall Kiri Belakang | 57523 | 1115.9 | 64189915.70 |
| Ponton Belakang | 14691.1 | 1509.12 | 22170481.92 |
| Ponton Depan | 77640 | 1509.12 | 117168076.80 |
| Ponton Kanan | 18653.2 | 1509.12 | 28149615.36 |
| Ponton Kiri | 14299 | 1509.12 | 21578906.88 |
| | | Jumlah | 541150269.46 |

Tabel 4.2.e. KC 25

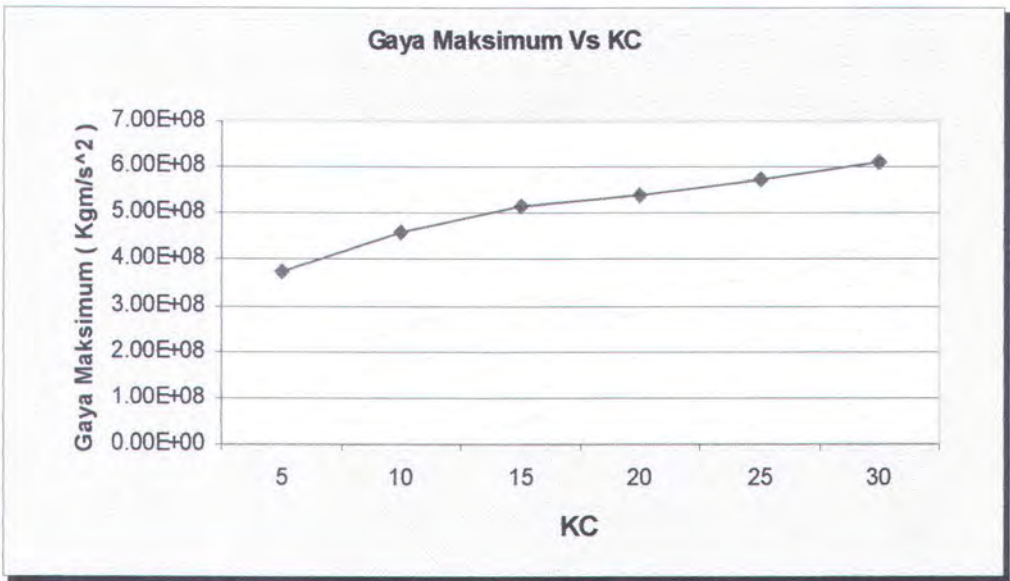
| Nama | Pressure (Kg/ms^2) | Area (m^2 | Gaya Total (Kgm/s^2) |
|---------------------|---------------------|------------|-----------------------|
| Wall Kanan Depan | 126060 | 1115.9 | 140670354 |
| Wall Kiri Depan | 92632 | 1115.9 | 103368048.8 |
| Wall Kanan Belakang | 59068 | 1115.9 | 65913981.2 |
| Wall Kiri Belakang | 59175 | 1115.9 | 66033382.5 |
| Ponton Belakang | 15687 | 1509.12 | 23673565.44 |
| Ponton Depan | 80950 | 1509.12 | 122163264 |
| Ponton Kanan | 19365 | 1509.12 | 29224108.8 |
| Ponton Kiri | 15491 | 1509.12 | 23377777.92 |
| | | Jumlah | 574424482.7 |



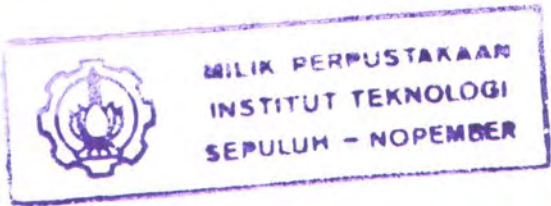
Tabel 4.2.f. KC 30

| Nama | Pressure (Kg/ms^2) | Area (m^2) | Gaya Total (Kgm/s^2) |
|---------------------|---------------------|-------------|-----------------------|
| Wall Kanan Depan | 147000 | 1115.9 | 164037300 |
| Wall Kiri Depan | 107830 | 1115.9 | 120327497 |
| Wall Kanan Belakang | 60425 | 1115.9 | 67428257.5 |
| Wall Kiri Belakang | 60513 | 1115.9 | 67526456.7 |
| Ponton Belakang | 15814 | 1509.12 | 23865223.68 |
| Ponton Depan | 81280 | 1509.12 | 122661273.6 |
| Ponton Kanan | 19438 | 1509.12 | 29334274.56 |
| Ponton Kiri | 15817 | 1509.12 | 23869751.04 |
| | | Jumlah | 619050034.1 |

Dari tabel perhitungan diatas kemudian diplotkan ke dalam grafik antara Gaya maksimum dengan KC.



Gambar 4.7.a. Grafik Gaya Maksimum Software Untuk arah 0° Dan 90° Vs KC

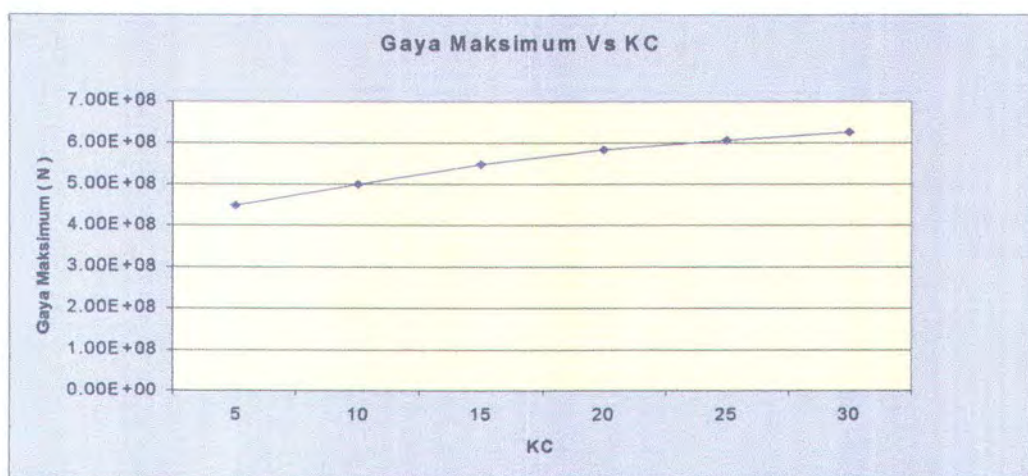




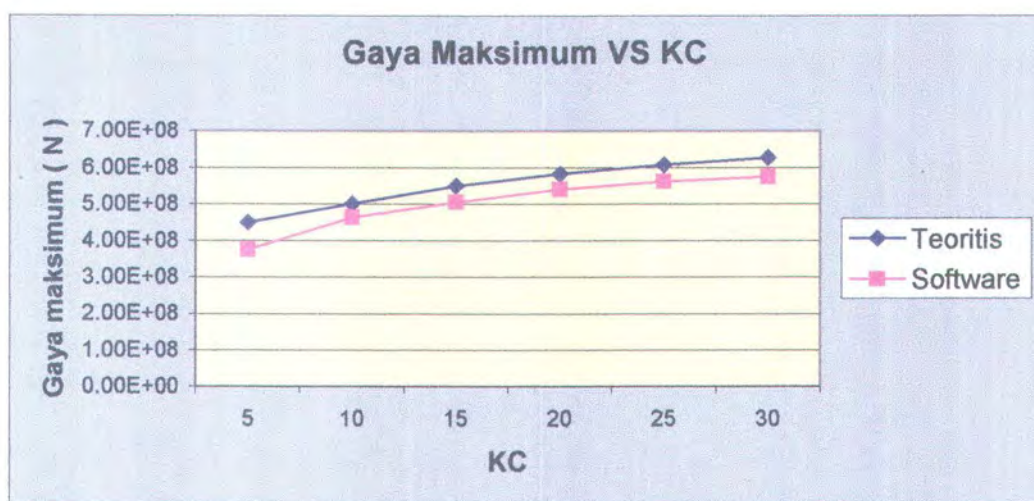
B. Berdasarkan Teoritis

Dari hasil perhitungan teoritis didapatkan gaya maksimum sebagai berikut :

| KC | F Silinder Tegak (N) | F Silinder Hor. X (N) | F Silinder Hor. Y (N) | Ftotal (N) |
|----|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| 5 | 406199495.1 | 3437787.72 | 39650194.3 | 449287477.1 |
| 10 | 456209594.4 | 3437787.72 | 44519814.04 | 504156796.1 |
| 15 | 500918857.8 | 3437787.72 | 48887763.81 | 553244409.3 |
| 20 | 530903577.1 | 3437787.72 | 51818177 | 586159541.8 |
| 25 | 5537671.64.6 | 3437787.72 | 54058572.63 | 611263525 |
| 30 | 572661230.4 | 3437787.72 | 54343918.53 | 630342936.7 |



Gambar 4.7.b. Grafik Gaya Maksimum Secara Teoritis Untuk Arah 0° Dan 90° Vs KC



Gambar 4.7.c. Grafik Perbandingan Software Dan Teoritis Arah 0° dan 90°



4.1.2. Arah Sudut Datang 45°

A. Berdasarkan Software

Tabel 4.3.a. KC 5

| Nama | Pressure (Kg/ms ²) | Area (m ² | Arah 45° |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | | Gaya (Kgm/s ²) |
| Wall Depan | 53319.8 | 859.968 | 45853321.77 |
| Wall Belakang | 34118 | 859.968 | 29340388.22 |
| Wall Kanan | 51985.3 | 859.968 | 44705694.47 |
| Wall kiri | 53143.6 | 859.968 | 45701795.4 |
| Ponton Depan Kanan | 53033.8 | 1509.12 | 80034368.26 |
| Ponton Depan Kiri | 53033.8 | 1509.12 | 80034368.26 |
| Ponton Belakang Kanan | 17438.5 | 1509.12 | 26316789.12 |
| Ponton Belakang Kiri | 15444.3 | 1509.12 | 23307302.02 |
| | | Jumlah | 375294027.5 |

Tabel 4.3.b. KC 10

| Nama | Pressure (Kg/ms ²) | Area (m ² | Arah 45° |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | | Gaya (Kgm/s ²) |
| Wall Depan | 75662 | 859.968 | 65066898.82 |
| Wall Belakang | 60637.5 | 859.968 | 52146309.6 |
| Wall Kanan | 75550 | 859.968 | 64970582.4 |
| Wall kiri | 75362 | 859.968 | 64808908.42 |
| Ponton Depan Kanan | 71132 | 1509.12 | 107346723.8 |
| Ponton Depan Kiri | 71132 | 1509.12 | 107346723.8 |
| Ponton Belakang Kanan | 19650.3 | 1509.12 | 29654660.74 |
| Ponton Belakang Kiri | 11707.5 | 1509.12 | 17668022.4 |
| | | Jumlah | 509008830 |

Tabel 4.3.c. KC 15

| Nama | Pressure (Kg/ms ²) | Area (m ² | Arah 45° |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | | Gaya (Kgm/s ²) |
| Wall Depan | 94787.45 | 859.968 | 81514173.8 |
| Wall Belakang | 66631 | 859.968 | 57300527.81 |
| Wall Kanan | 94526.3 | 859.968 | 81289593.16 |
| Wall kiri | 94906 | 859.968 | 81616123.01 |
| Ponton Depan Kanan | 74771.19 | 1509.12 | 112838698.3 |
| Ponton Depan Kiri | 74771.19 | 1509.12 | 112838698.3 |
| Ponton Belakang Kanan | 19827.2 | 1509.12 | 29921624.06 |
| Ponton Belakang Kiri | 16060.2 | 1509.12 | 24236769.02 |
| | | Jumlah | 581556207.4 |



Tabel 4.3.d. KC 20

| Nama | Pressure (Kg/ms ²) | Area (m ²) | Arah 45° |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| | | | Gaya (Kgm/s ²) |
| Wall Depan | 98590 | 859.968 | 84784245.12 |
| Wall Belakang | 69504.5 | 859.968 | 59771645.86 |
| Wall Kanan | 98313.6 | 859.968 | 84546549.96 |
| Wall kiri | 98318.6 | 859.968 | 84550849.8 |
| Ponton Depan Kanan | 78478.9 | 1509.12 | 118434077.6 |
| Ponton Depan Kiri | 78478.9 | 1509.12 | 118434077.6 |
| Ponton Belakang Kanan | 19836.7 | 1509.12 | 29935960.7 |
| Ponton Belakang Kiri | 17676.4 | 1509.12 | 26675808.77 |
| | | Jumlah | 607133215.4 |

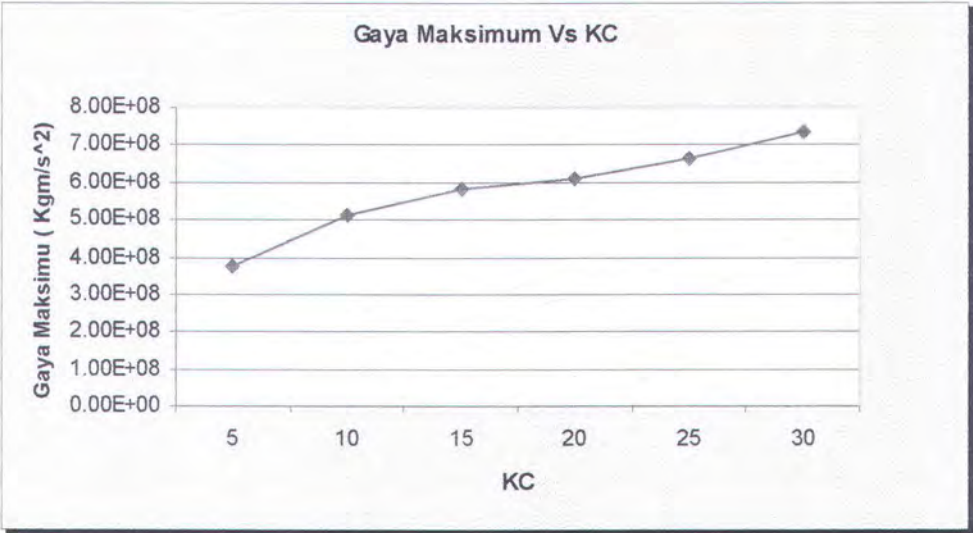
Tabel 4.3.e. KC 25

| Nama | Pressure (Kg/ms ²) | Area (m ²) | Arah 45° |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| | | | Gaya (Kgm/s ²) |
| Wall Depan | 137220 | 859.968 | 118004809 |
| Wall Belakang | 74504.5 | 859.968 | 64071485.86 |
| Wall Kanan | 103136.2 | 859.968 | 88693831.64 |
| Wall kiri | 103136.2 | 859.968 | 88693831.64 |
| Ponton Depan Kanan | 80787.9 | 1509.12 | 121918635.6 |
| Ponton Depan Kiri | 80787.9 | 1509.12 | 121918635.6 |
| Ponton Belakang Kanan | 21836.7 | 1509.12 | 32954200.7 |
| Ponton Belakang Kiri | 19676.4 | 1509.12 | 29694048.77 |
| | | Jumlah | 665949478.9 |

Tabel 4.3.f. KC 30

| Nama | Pressure (Kg/ms ²) | Area (m ²) | Arah 45° |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| | | | Gaya (Kgm/s ²) |
| Wall Depan | 159360 | 859.968 | 137044500.5 |
| Wall Belakang | 76251.9 | 859.968 | 65574193.94 |
| Wall Kanan | 126093 | 859.968 | 108435945 |
| Wall kiri | 126093 | 859.968 | 108435945 |
| Ponton Depan Kanan | 81906.85 | 1509.12 | 123607265.5 |
| Ponton Depan Kiri | 81906.85 | 1509.12 | 123607265.5 |
| Ponton Belakang Kanan | 22255.6 | 1509.12 | 33586371.07 |
| Ponton Belakang Kiri | 21554.1 | 1509.12 | 32527723.39 |
| | | Jumlah | 732819209.9 |

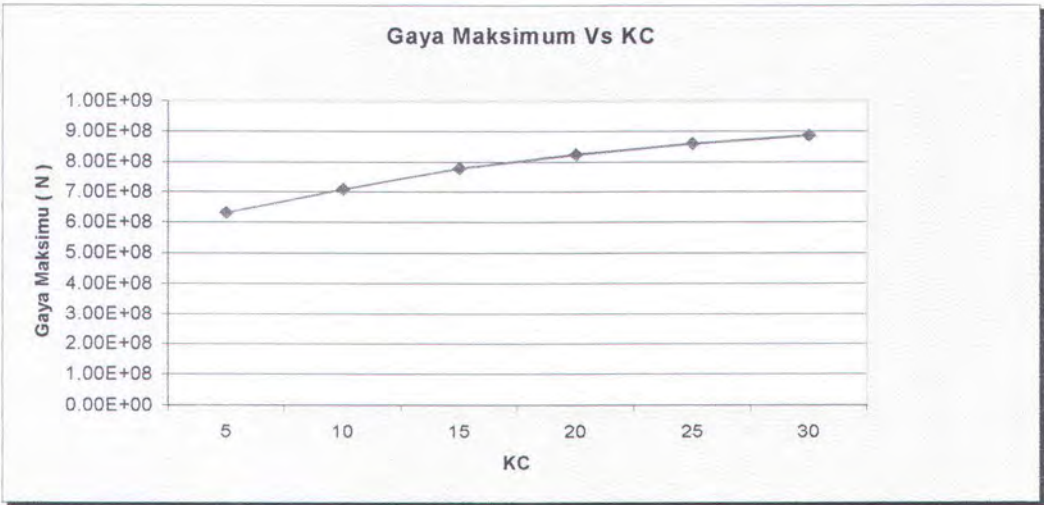
Dari tabel perhitungan diatas kemudian diplotkan ke dalam grafik antara Gaya maksimum dengan KC.



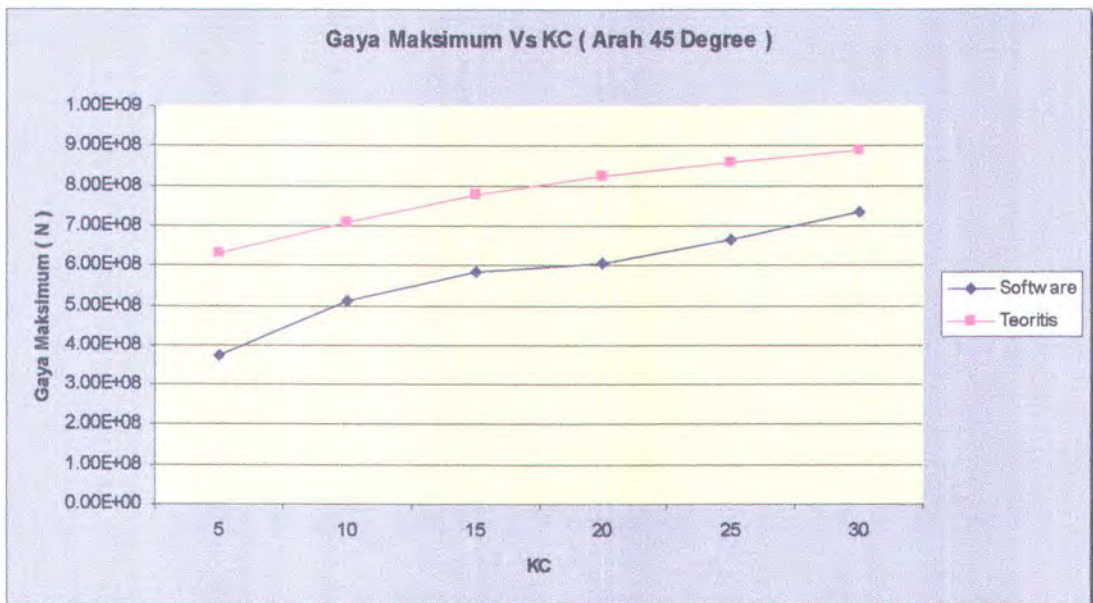
Gambar 4.8.a. Grafik Gaya Maksimum Software Untuk arah 45° Vs KC

B. Berdasarkan Teoritis

| KC | F Silinder Tegak (N) | F Silinder Hor. X (N) | F Silinder Hor. Y (N) | Ftotal (N) |
|----|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| 5 | 574366086.1 | 4861031.836 | 56065374.73 | 635292492.7 |
| 10 | 645080366.5 | 4861031.836 | 62951017.06 | 712892415.4 |
| 15 | 708299264.9 | 4861031.836 | 69127298.02 | 782287594.8 |
| 20 | 750697658 | 4861031.836 | 73270902.27 | 828829592.1 |
| 25 | 783026770.7 | 4861031.836 | 76438821.7 | 864326624.3 |
| 30 | 809601579.8 | 4861031.836 | 76842300.8 | 891304912.4 |



Gambar 4.8.b. Grafik Gaya Maksimum Secara Teoritis Untuk Arah 45° Vs KC



Gambar 4.8.c. Grafik Perbandingan Software Dan Teoritis Arah 45°

4.5. Pembahasan

4.5.1. Arah Sudut Datang 0 ° Dan 90°

4.5.1.a. Gaya maksimum perhitungan secara software vs KC

Pada gambar 4.7.a. diatas menunjukkan fenomena yang terjadi untuk gaya maksimum terhadap variasi nilai KC. Dari grafik tersebut terlihat bahwa terjadi kenaikan gaya maksimum pada TLP seiring dengan meningkatnya nilai Keulegan Carpenter (KC). Pada Nilai KC yang kecil mengakibatkan terjadinya gaya maksimum yang kecil pula. Begitu pula dengan semakin besar nilai KC nya maka akan mengakibatkan besarnya gaya maksimum yang mengenai TLP akan semakin besar. Tetapi pada nilai KC 20 terjadi kenaikan gaya maksimum yang relatif kecil sehingga mengakibatkan kenaikan grafik pada gambar 4.7.a cenderung datar, tetapi untuk nilai KC selanjutnya (25-30) nilai gaya maksimum kembali naik kembali. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi kenaikan gaya



maksimum yang mengenai TLP pada arah sudut datang fluida 0° dan 90° secara periodik seiring dengan meningkatnya nilai KC.

Besarnya nilai maksimum yang terjadi pada arah sudut datang 0° dan 90° paling besar terjadi pada silinder tegak terdepan (wall kanan depan dan wall kiri depan). Hal ini terjadi dikarenakan silinder tegak (kolom) terdepan tersebut yang pertama menerima tubrukan dari kecepatan gelombang yang mengalir. Hal ini ditandai dalam pola aliran *pressure* pada lampiran 7 dengan warna merah. Selanjutnya untuk kedua silinder tegak belakang relatif lebih kecil dibandingkan dengan kedua silinder depan tersebut. Untuk besarnya nilai *pressure* pada ponton nilainya lebih kecil daripada silinder tegak tetapi ponton depan merupakan ponton yang mempunyai nilai *pressure* terbesar. Untuk lebih lengkapnya mengenai fenomena aliran *pressure* dapat dilihat pada lampiran 7.

Fenomena aliran fluida yang mengenai TLP karena beban gelombang terjadi karena pengaruh dari domain yang dipakai. Dan fenomena yang terjadi adanya perpindahan pola aliran dari *subcritical* ke *supercritical*. Fenomena pola aliran tersebut menunjukkan bahwa pusaran cenderung menyempit pada titik *separation* menuju ke silinder tegak yang belakang namun belum terjadi perubahan *boundary layer*. *Boundary layer* masih dalam keadaan *regime supercritical*.

4.5.1.b. Gaya maksimum perhitungan secara teoritis vs KC

Berdasarkan gambar 4.7.b. diatas, menunjukkan bahwa nilai gaya maksimum yang terjadi mengalami kenaikan pada setiap variasi KC. Semakin besar nilai KC yang ada maka nilai gaya maksimum yang terjadi akan semakin besar pula. Kenaikan nilai gaya maksimum relatif hampir konstan kenaikan seiring dengan kenaikan nilai KC. Hal ini mungkin diakibatkan karena dalam



perhitungan secara teoritis tidak memperhitungkan interaksi antar struktur yang mengakibatkan besarnya pada setiap nilai KC hampir sama kenaikannya. Nilai gaya gelombang berdasarkan perhitungan secara teoritis lebih besar daripada secara software karena didalam perhitungannya tidak memperhatikan interaksi antar struktur TLP.

4.5.1.c. Perbandingan gaya maksimum perhitungan secara software dan teoritis vs KC.

Pada gambar 4.7.c, terjadi fenomena bahwa besarnya gaya maksimum yang terjadi berdasarkan perhitungan dengan software dan teoritis relatif cenderung sama perubahannya, dimana kedua-duanya cenderung naik secara periodik seiring dengan meningkatnya nilai KC. Tetapi grafik keduanya tidak terlalu sama karena dalam perhitungan berdasarkan software pada nilai KC 5, merupakan terjadinya gaya maksimum yang paling rendah, sebaliknya dengan berdasarkan teoritis kenaikannya relatif konstan. Selain itu pada perhitungan software pada nilai KC 20 kenaikan relatif kecil jika dibandingkan dengan kenaikan gaya maksimum pada nilai KC sebelumnya maupun pada nilai KC selanjutnya. Besar gaya maksimum secara software lebih kecil jika dibandingkan dengan besar gaya secara teoritis, hal ini disebabkan karena pada perhitungan secara software, pengaruh interaksi struktur TLP (kolom dan ponton) dimasukkan dalam perhitungan CFD, sehingga besarnya gaya maksimum tergantung dari interaksi dari struktur TLP. Lain halnya dengan perhitungan secara teoritis, dimana interaksi antar struktur TLP (kolom dan ponton) tidak diperhatikan dalam perhitungannya. Tingkat kesalahan untuk perhitungan gaya maksimum software dengan teoritis pada arah sudut datang 0° dan 90° berkisar antara 1.79-16.6 %.



4.5.2. Arah Sudut Datang 45°

4.5.2.a. Gaya maksimum perhitungan secara software vs KC

Berdasarkan gambar 4.8.a., terlihat bahwa pada nilai KC 5 merupakan nilai gaya maksimum yang terkecil dan pada nilai KC 10 terjadi kenaikan yang besar sehingga terjadi kenaikan yang drastis pada gambar 4.8.a.. Selanjutnya untuk variasi nilai KC 15 terjadi kenaikan gaya maksimum yang relatif konstan dengan gaya maksimum yang terjadi pada nilai KC 10. Pada nilai KC 20 kenaikan gaya maksimum relatif menurun tetapi tidak terlalu drastis, tetapi dalam grafik mengakibatkan grafik cenderung konstan. Penurunan Gaya maksimum yang mengenai TLP pada arah sudut datang 45° tidak terjadi pada nilai KC 25–30, karena pada nilai KC 25–30 terjadi kenaikan yang normal kembali.

Besarnya nilai gaya maksimum yang terjadi pada arah 45° terjadi pada silinder tegak terdepan (wall depan), silinder tegak kanan dan kiri (wall kanan dan wall kiri), sehingga besarnya nilai gaya maksimum total diperoleh dari ketiga nilai *pressure* silinder tegak tersebut disamping kedua ponton bagian depan. Hal ini ditandai pada warna merah pada silinder tegak tersebut yang terjadi pada fenomena aliran *pressure* untuk arah sudut datang 45° .

4.2.2.b. Gaya maksimum perhitungan secara teoritis vs KC

Berdasarkan gambar 4.8.b. diatas , menunjukkan bahwa nilai gaya maksimum yang terjadi mengalami kenaikan pada setiap variasi KC. Semakin besar nilai KC yang ada maka nilai gaya maksimum yang terjadi akan semakin besar pula. Kenaikan nilai gaya maksimum relatif hampir konstan kenaikan seiring dengan kenaikan nilai KC. Pada perhitungan secara teoritis untuk arah sudut datang 45° menggunakan perjumlahan resultan terhadap perhitungan gaya pada arah x dan arah y terhadap platform sehingga pada perhitungan arah teoritis



untuk arah 45° relatif lebih besar daripada untuk arah sudut datang 0° dan 90° . Nilai gaya gelombang berdasarkan perhitungan secara teoritis lebih besar daripada secara software karena didalam perhitungannya tidak memperhatikan interaksi antar struktur TLP.

4.2.2.c. Perbandingan gaya maksimum perhitungan secara software dan teoritis vs KC

Pada gambar 4.8.c., terjadi fenomena bahwa besarnya gaya maksimum yang terjadi berdasarkan perhitungan dengan software dan teoritis relatif cenderung sama perubahannya, dimana kedua-duanya cenderung naik secara periodik seiring dengan meningkatnya nilai KC. Tetapi grafik keduanya tidak terlalu sama karena dalam perhitungan berdasarkan software pada nilai KC 5, merupakan terjadinya gaya maksimum yang paling rendah, sebaliknya dengan berdasarkan teoritis kenaikannya relatif konstan. Selain itu pada perhitungan software pada nilai KC 20 kenaikan relatif kecil (relatif konstan) jika dibandingkan dengan kenaikan gaya maksimum pada nilai KC sebelumnya maupun pada nilai KC selanjutnya. Besar gaya maksimum secara software lebih kecil jika dibandingkan dengan besar gaya secara teoritis seperti halnya pada perhitungan pada arah 0° dan 90° . Tingkat kesalahan untuk perhitungan gaya maksimum software dan teoritis pada arah sudut datang 45° berkisar antara 17.78-36.92 %.





BAB V KESIMPULAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dan janganlah kamu mengikuti apa yang kamu tidak mempunyai pengetahuannya. Sesungguhnya pendengaran, penglihatan, dan hati semuanya itu akan diminta pertanggungjawaban (Q.S. Al-Isra' ayat 36)



BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil percobaan secara numerik dengan menggunakan software CFX-5.4.1. dan perhitungan secara teoritis maka dalam hal ini bisa ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berkaitan dengan hasil percobaan dengan CFX-5.4.1, model representatif dicapai pada ukuran mesh control 0.6. Hal ini terlihat bahwa dengan ukuran *mesh control* 0.6 memberikan nilai *pressure* yang mengenai TLP bernilai konstan.
2. Berdasarkan dengan hasil percobaan yang dilakukan yang terjadi akibat adanya variasi kecepatan memberikan pengaruh terhadap munculnya fenomena *wake* atau ulean yang terjadi dibelakang silinder, dan ulean ini menggambarkan adanya kecepatan balik yang bernilai negatif. Dari fenomena yang terjadi terlihat bahwa semakin besar kecepatan yang dipakai maka semakin besar *wake* atau ulean yang terjadi.
3. Fenomena aliran fluida yang terjadi pada arah sudut datang fluida 0° dan 90° berbeda dengan fenomena yang terjadi arah sudut datang fluida 45° . Pada pola aliran fluida untuk sudut datang 45° terlihat bahwa tekanan yang terjadi lebih besar daripada 0° dan 90° . Hal ini dikarenakan pada arah sudut datang 45° nilai *pressure* terbesar ada pada ketiga silinder tegak (wall depan, wall kanan, wall kiri),.



Sedangkan pada arah 0° dan 90° nilai *pressure* terbesar ada pada satu silinder tegak saja (wall depan). Sehingga dengan tekanan yang besar menyebabkan gaya maksimum yang terjadi pada arah sudut datang fluida 45° lebih besar daripada 0° dan 90° .

4. Gaya maksimum yang mengenai TLP baik untuk arah sudut datang fluida 0° , 45° dan 90° selalu meningkat secara periodik seiring dengan meningkatnya nilai *Keulegan Carpenter* (KC), sehingga semakin besar nilai KC maka besarnya gaya maksimum yang terjadi semakin besar pula.
5. Pada nilai KC 5-10 terjadi peningkatan yang tajam jika dibandingkan dengan nilai KC yang lain (15-30). Hal ini disebabkan karena *smooth boundary layer* belum terbentuk sehingga gaya drag yang terjadi lebih besar. Lain halnya pada nilai KC 20-25 terjadi kenaikan relatif kecil, hal ini disebabkan karena pada KC antara 15-24 terjadi *Double Pair Regimes*, sehingga mengakibatkan *pressure* mengalami penurunan.
6. Besarnya gaya maksimum yang terjadi antara software dengan perhitungan secara teoritis relatif sama seiring dengan meningkatnya nilai KC.
7. Untuk semua arah sudut datang (0° , 45° dan 90°) besar gaya maksimum secara software lebih kecil jika dibandingkan dengan besar gaya secara teoritis, hal ini disebabkan karena pada perhitungan secara software, pengaruh interaksi antar struktur TLP (kolom dan ponton) dimasukkan dalam perhitungan CFD, sehingga besarnya gaya maksimum tergantung dari interaksi dari struktur TLP tersebut. Lain



halnya dengan perhitungan secara teoritis, dimana interaksi antara struktur TLP (kolom dan ponton) tidak diperhatikan dalam perhitungannya.

8. Tingkat kesalahan untuk perhitungan gaya maksimum software dan teoritis pada arah sudut datang 0° dan 90° berkisar antara 1.79-16.6 %, sedangkan untuk arah sudut datang 45° berkisar antara 17.78-36.92 %

5.2. Saran

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam penelitian mengenai fenomena aliran yang terjadi akibat beban gelombang perlu dilakukan adanya percobaan atau simulasi secara *real model* sebagai pembanding. Adapun kelebihan yang dimiliki oleh program CFX-5.4.1 ini adalah adanya kemampuan merencanakan model simulasi dengan program CFX dengan lebih bervariasi dan relatif lebih murah biayanya sehingga model yang akan dibuat lebih baik disimulasikan dengan banyak variasi di program CFX-5.4.1. Sedangkan kelemahannya adalah waktu yang kita perlukan lebih banyak untuk mensimulasikan berbagai macam model tersebut.

Untuk melihat hasil-hasil yang lebih memuaskan dari percobaan ini perlu dilakukan percobaan dengan melakukan variasi terhadap diameter silinder yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Mereka menjawab : “ Maha suci Engkau, tidak ada yang kami ketahui selain daripada yang telah Engkau ajarkan kepada kami; sesungguhnya Engkaulah yang Maha Bijaksana. (Q.S. Al Baqarah ayat 32)

DAFTAR PUSTAKA

- AEA Technology plc, 1999,” *Introduction to CFX – 5.4.1* “ Didcot, Oxford Shire OX110RA, United Kingdom.
- Anderson, John.D., “Computational Fluid Dynamics–The Basics With Applications”, Department of Aerospace Engineering of Maryland, Mcgraw – Hill, Inc, New York.
- Chackrabarti, S.K., 1978, “ *Hydrodynamic of Offshore Structure* “ Computational Mechanic Publications.
- Dawson, T.H., 1983 , “ Offshore Structural Engineering “, Prentice – Hall Inc.
- Indiyono, P., 1996 , “ *Hydrodynamic Loading Due To Appurtenances On Offshore Structural Members* “ A Thesis Submitted for Degree of Doctor of Philisophy, Newcastle.
- Keulegan,G.H., and Carpenter, L.H., 1958 , “ *Forces On Cylinders And Plates In An Oscilating Fluid*” Journal OF Research of The National Bureau of Standards, Volume 45, No.24, March.
- Luckyanto,M.M, 2003 , “ *Pemodelan Numerik Pada Dua Silinder Akibat Beban Gelombang Dan Arus Dengan Menggunakan Software CFX 5.4.1*. Tugas Akhir Untuk Syarat Kelulusan Sarjana Teknik, ITS, Surabaya.
- Milne– Thomson, L.M., 1986 ,” *Theoretical Hydrodynamics*”, The MacMillan Co., New York.
- Robert, F.W., and Alan McDonald, T., 1989, “ *Introduction To Fluid Mechanics* “, Handbook of Mechanical Engineering.
- Sarpkaya, T., and Isaacson, M., 1981 , “ *Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures* “, Litton Educational Publishing Inc.

Versteeg,H.K, and Maldasehera, 1995 , “ An Fundamental to Computational Fluid Dynamics, Lungman Scientific and Technical Harlow, (England).



DAFTAR LAMPIRAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Yang mendengarkan perkataan lalu mengikuti apa yang paling baik, diantaranya. Mereka itulah orang – orang yang telah diberi Allah petunjuk dan mereka itulah orang – orang yang mempunyai akal. (QS. Az-Zumar ayat 18)

LAMPIRAN 1
PERHITUNGAN BEBAN GELOMBANG

Perhitungan Beban Gelombang & Penentuan Teori Gelombang

Data :

| | | | |
|--------------------------------|---|-------|---|
| Tinggi Gelombang (H_{sig}) | : | 2.012 | m |
| Periode gelombang (T) | : | 7.2 | s |
| Kedalaman (d) | : | 1021 | m |

Penentuan Tipe Gelombang :

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{1021}{9.81 \times (7.2^2)} = 2.007$$

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{2.012}{9.81 \times (7.2^2)} = 0.00039$$

Dengan melihat Diagram “ Region Of Validity” pada WSD – API hal 18, maka tipe gelombang yang dipakai adalah : ***Tipe gelombang Linear (Airy)***.

Penggunaan Teori Morrison

$D / \lambda < 0.2$; penggunaan rumus *Morrison* adalah valid (Chakrabarti, 1987), sehingga dapat dilihat bahwa nilai diameter silinder berbanding panjang gelombang lebih kecil 0.2, sehingga penggunaan *Teori Morison valid* yaitu nilai sebagai berikut:

$$D / \lambda = \frac{13,6}{80,98} = 0.167$$

Parameter gelombang untuk perairan dalam berdasarkan teori gelombang linier (Airy)

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\mu} = \frac{9.81 \times (7.2^2)}{2\mu} = 80.98$$

$$k = \frac{2\mu}{\lambda} = \frac{2\mu}{80.98} = 0.078$$

$$\omega = \frac{2\mu}{T} = \frac{2\mu}{7.2} = 0.872$$

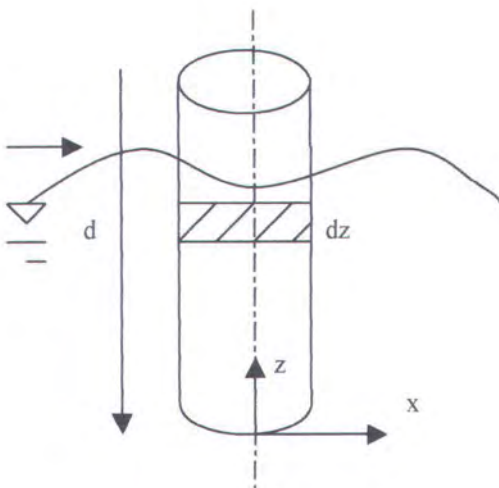
$$\phi = \frac{gH}{2\omega} e^{kz} \sin(kx - \omega t)$$

$$u = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \cos(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{-gH}{2\omega} e^{kz} \omega \cos(kx - \omega t)$$

$$= \frac{-gH}{2} e^{kz} \cos(kx - \omega t)$$

Untuk Silinder Tegak



$$\text{Pressure} = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\rho g H}{2} e^{kz} \cos(kx - \omega t)$$

$$\text{Area} = \frac{1}{2} D (-\cos \theta) d\theta dz$$

Gaya Froude – Krvlov :

$$\begin{aligned}
 dF_{fk} &= \left[\frac{\rho g H}{2} e^{kz} \cos(kx - \omega t) \right] \left[\frac{1}{2} D (-\cos \theta) d\theta . dz \right] \\
 &= \left[\frac{\rho g H}{2} e^{kz} \cos \left[k \left[\frac{1}{2} D \cos \theta \right] - \omega t \right] \right] \left[\frac{1}{2} D [-\cos \theta] d\theta . dz \right] \\
 &= \frac{\rho g H}{2} e^{kz} \frac{1}{2} D . dz \cos \left[k \left(\frac{1}{2} D . \cos \theta \right) - \omega t \right] [-\cos \theta] d\theta \\
 &= \frac{\rho g H}{2} e^{kz} \frac{1}{2} D . dz \left[\cos \frac{1}{2} k D \cos \theta \cos \omega t + \sin \frac{1}{2} k D \cos \theta . \sin \omega t \right] [-\cos \theta] d\theta \\
 &= \frac{\rho g H}{2} e^{kz} \frac{1}{2} D . dz \int_0^{2\pi} \left[\cos \omega t + \frac{1}{2} k D \cos \theta . \sin \omega t \right] [-\cos \theta] d\theta \\
 &= \frac{\rho g H}{2} e^{kz} \frac{1}{2} D . dz \int_0^{2\pi} \left[-\cos \theta . \cos \omega t - \frac{1}{2} k D \cos^2 \theta . \sin \omega t \right] . d\theta
 \end{aligned}$$

Karena $\frac{D}{\lambda} < 0.2$

$$k.D = \frac{2\pi}{\lambda} D = 2\pi \frac{D}{\lambda} = 0.2 \pi$$

$$\frac{1}{2} k.D = 0.2\pi \longrightarrow \text{Kecil}$$

Untuk sudut yang kecil, $-\cos \theta = \sin \theta = 0$ dan $\cos^2 \theta = \frac{\cos 2\theta + 1}{2}$, maka

$$= -\frac{\rho g H}{2} e^{kz} \frac{1}{2} . D . dz \int_0^{2\pi} \frac{1}{4} k . D . (\cos 2\theta + 1) \sin \omega t . d\theta$$

$$= \frac{-\rho g H}{2} e^{kz} \frac{1}{8} k \cdot D^2 \cdot dz \left[\frac{\sin 2\theta}{2} + \theta \right]_0^{2\pi} \sin \omega t$$

$\sin 2\theta = 0$, maka :

$$dF_{fk} = \frac{-\rho g H}{16} k \cdot D^2 \cdot 2\pi \cdot \sin \omega t \int_{-z}^0 e^{kz} \cdot dz, \text{ maka}$$

$$F_{fk} = \frac{-\rho g H}{8} \pi \cdot D^2 \sin \omega t \cdot e^{kz} \bigg|_{-z}^0$$

$$F_{inersia} = C_m \times F_{fk}$$

Gaya Drag

$$dF_D = \frac{1}{2} \cdot D \cdot C_d \cdot \rho \cdot u \cdot [u] dz$$

$$= \frac{1}{2} \cdot D \cdot C_d \cdot \rho \cdot \left[\frac{\pi H}{T} e^{kz} \cdot \cos(kx - \omega t) \right] \left[\frac{\pi H}{T} e^{kz} \cos(kx - \omega t) \right] \cdot dz$$

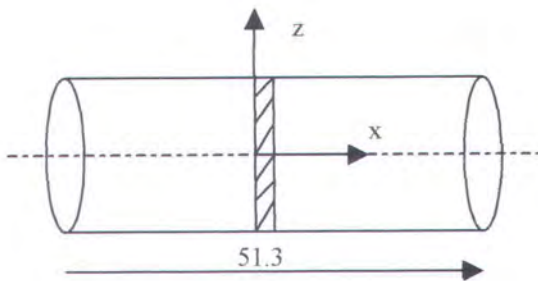
$$= \frac{8}{3\pi} \frac{1}{2} \cdot D \cdot C_d \cdot \rho \cdot \left[\frac{\pi H}{T} e^{kz} \right] \left[\frac{\pi H}{T} e^{kz} \cos(kx - \omega t) \right] \cdot dz$$

$$= \frac{4}{3\pi} \cdot D \cdot C_d \cdot \rho \cdot \left[\frac{\pi H}{T} e^{kz} \right]^2 \cdot \cos(kx - \omega t) \cdot dz$$

$$= \frac{4}{3\pi} \cdot D \cdot C_d \cdot \rho \cdot \left[\frac{\pi H}{T} \right]^2 \cdot \cos(kx - \omega t) \int_{-z}^0 e^{2kz} \cdot dz$$

$$= \frac{4}{3\pi} \cdot D \cdot C_d \cdot \rho \cdot \left[\frac{\pi H}{T} \right]^2 \cdot \cos(kx - \omega t) \cdot \left[\frac{e^{kz}}{2k} \right] \bigg|_{-z}^0$$

Untuk Silinder Horizontal 1 (arah x)



Untuk Silinder horizontal,

$$F_{\text{drag}} = 0$$

$$F_{\text{inersia}} = 0$$

$$F_{\text{added mass}} = \frac{16}{3} \rho \cdot r^3$$

Untuk Silinder Horizontal 2 (arah Y)

Gaya Froude - Krylov

$$F_{fk} = \frac{-\rho g H}{16} k \cdot D^2 \cdot 2\pi \cdot e^{kz} \sin(kx - \omega t) \cdot \int_{-y}^y y \cdot dy$$

Gaya Inersia

$$F_{\text{inersia}} (F_i) = C_m \cdot F_{fk}$$

Gaya Drag

$$\begin{aligned} F_{\text{drag}} (F_d) &= \frac{8}{3\pi} \frac{1}{2} C_d \cdot D \cdot \rho \cdot \left[\frac{\pi H}{T} e^{kz} \right]^2 \cos(kx - \omega t) \int_{-y}^y y dy \\ &= \frac{8}{3\pi} \frac{1}{2} C_d \cdot D \cdot \rho \cdot \left[\frac{\pi H}{T} e^{kz} \right]^2 \cos(kx - \omega t) y \Bigg|_{-25,65}^{25,65} \end{aligned}$$

Gaya Total Grlombang Untuk Silinder Horisontal Arah y

$$F_{\text{total}} = F_d + F_i$$



Secara Teoritis Arah 0° & 90°

Silinder Tegak

| KC | ρ | g | H | π | D^2 | z | T | Cos wt | Cd | k | Sin wt | e^{kz} | $(e^{2kz})/2k$ | Ffk |
|----|--------|------|-------|-------|--------|--------|-----|--------|----|-------|--------|------------|----------------|---------|
| 5 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.733 | 2 | 0.078 | 0.689 | 9.98550002 | 6.097 | 4041916 |
| 10 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.633 | 2 | 0.078 | 0.774 | 9.98550002 | 6.097 | 4540556 |
| 15 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.533 | 2 | 0.078 | 0.85 | 9.98550002 | 6.097 | 4986399 |
| 20 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.433 | 2 | 0.078 | 0.901 | 9.98550002 | 6.097 | 5285583 |
| 25 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.333 | 2 | 0.078 | 0.94 | 9.98550002 | 6.097 | 5514371 |
| 30 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.233 | 2 | 0.078 | 0.972 | 9.98550002 | 6.097 | 5702094 |

| $F1 = cm \times Ffk \text{ (N)}$ | $Fd \text{ (N)}$ | $F_{total} \text{ 4 Silider Tegak (N)}$ |
|------------------------------------|--------------------|---|
| 101452108.8 | 97765.02719 | 406199495.1 |
| 113967971.2 | 84427.37 | 456209594.4 |
| 125158624.7 | 71089.71281 | 500918857.8 |
| 132668142.2 | 57752.05562 | 530903577.1 |
| 138410714.4 | 31076.74125 | 553767164.6 |
| 143122568.5 | 17739.08406 | 572561230.4 |

Silinder Horisontal Arah X

| KC | ρ | r | Ftotal (N) |
|----|--------|-----|--------------|
| 5 | 1025 | 6.8 | 3437787.718 |
| 10 | 1025 | 6.8 | 3437787.718 |
| 15 | 1025 | 6.8 | 3437787.718 |
| 20 | 1025 | 6.8 | 3437787.718 |
| 25 | 1025 | 6.8 | 3437787.718 |
| 30 | 1025 | 6.8 | 3437787.718 |

Silinder Horisontal Arah y

| KC | ρ | g | H | π | D ² | z | Cd | k | Sin wt | e ^{kz} | Y | Ffk | F1 = cm x Ffk | Fd (N) |
|----|--------|------|------|-------|----------------|--------|----|-------|--------|-----------------|------|-------------|---------------|-----------|
| 5 | -1025 | 9.81 | 2.01 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.689 | 0.152 | 51.3 | -7892133.05 | 19809253.97 | 15843.182 |
| 10 | -1025 | 9.81 | 2.01 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.774 | 0.152 | 51.3 | -8865763.4 | 22253066.14 | 6840.8829 |
| 15 | -1025 | 9.81 | 2.01 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.85 | 0.152 | 51.3 | -9736303.48 | 24438121.73 | 5760.1747 |
| 20 | -1025 | 9.81 | 2.01 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.901 | 0.152 | 51.3 | -10320481.7 | 25904409.03 | 4679.4665 |
| 25 | -1025 | 9.81 | 2.01 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.94 | 0.152 | 51.3 | -10767206.2 | 27025687.56 | 3598.7583 |
| 30 | -1025 | 9.81 | 2.01 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.945 | 0.152 | 51.3 | -10824478.6 | 27169441.22 | 2518.0501 |

| Ftotal 2 SilinderHor y(N) | FTOTAL Gelombang (N) |
|----------------------------|-----------------------|
| 39650194.3 | 449287477.1 |
| 44519814.04 | 504167196.1 |
| 48887763.81 | 553244409.3 |
| 51818177 | 586159541.8 |
| 54058572.63 | 611263525 |
| 54343918.53 | 630342936.7 |

Secara Teoritis Arah 45°

Silinder Tegak

| KC | Rho | g | H | Phi | D ² | z | T | Cos wt | Cd | k | Sin wt | e ^{kz} | (e ^{2kz})/2k | F1 |
|----|-------|------|-------|------|----------------|--------|-----|--------|----|-------|--------|-----------------|------------------------|-------|
| 5 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.733 | 2 | 0.078 | 0.689 | 9.98550002 | 6.097 | 40419 |
| 10 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.633 | 2 | 0.078 | 0.774 | 9.98550002 | 6.097 | 45405 |
| 15 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.533 | 2 | 0.078 | 0.85 | 9.98550002 | 6.097 | 49863 |
| 20 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.433 | 2 | 0.078 | 0.901 | 9.98550002 | 6.097 | 52855 |
| 25 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.333 | 2 | 0.078 | 0.94 | 9.98550002 | 6.097 | 55143 |
| 30 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -19.35 | 7.2 | 0.233 | 2 | 0.078 | 0.972 | 9.98550002 | 6.097 | 57020 |

| F1 = cm x Ffk | Fd | Fx | Fy | Fx total4Silinder | Fx total4Silinder | Fmax total 4Silinder (|
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| 101452108.8 | 97765.02719 | 101549873.8 | 101549873.8 | 406199495.1 | 406199495.1 | 574366086.1 |
| 113967971.2 | 84427.37 | 114052398.6 | 114052398.6 | 456209594.4 | 456209594.4 | 645080366.5 |
| 125158624.7 | 71089.71281 | 125229714.4 | 125229714.4 | 500918857.8 | 500918857.8 | 708299264.9 |
| 132668142.2 | 57752.05562 | 132725894.3 | 132725894.3 | 530903577.1 | 530903577.1 | 750697658 |
| 138410714.4 | 31076.74125 | 138441791.2 | 138441791.2 | 553767164.6 | 553767164.6 | 783026770.7 |
| 143122568.5 | 17739.08406 | 143140307.6 | 143140307.6 | 572561230.4 | 572561230.4 | 809601579.8 |

Silinder Arah X

| KC | Rho | r | Fx | Fy | Fxtotal 2 Silinder | Fytotal 2 Silinder | FTOTAL (N) |
|----|------|-----|------------|------------|--------------------|--------------------|--------------|
| 5 | 1025 | 6.8 | 1718893.86 | 1718893.86 | 3437787.718 | 3437787.718 | 4861031.83 |
| 10 | 1025 | 6.8 | 1718893.86 | 1718893.86 | 3437787.718 | 3437787.718 | 4861031.83 |
| 15 | 1025 | 6.8 | 1718893.86 | 1718893.86 | 3437787.718 | 3437787.718 | 4861031.83 |
| 20 | 1025 | 6.8 | 1718893.86 | 1718893.86 | 3437787.718 | 3437787.718 | 4861031.83 |
| 25 | 1025 | 6.8 | 1718893.86 | 1718893.86 | 3437787.718 | 3437787.718 | 4861031.83 |
| 30 | 1025 | 6.8 | 1718893.86 | 1718893.86 | 3437787.718 | 3437787.718 | 4861031.83 |

Silinder Arah Y

| KC | Rho | g | H | Phi | D^2 | z | Cd | k | Sin wt | e^kz | Y | Ffk |
|----|-------|------|-------|------|--------|--------|----|-------|--------|---------|------|-------------|
| 5 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.689 | 0.15203 | 51.3 | 7892133.054 |
| 10 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.774 | 0.15203 | 51.3 | 8865763.402 |
| 15 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.85 | 0.15203 | 51.3 | 9736303.477 |
| 20 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.901 | 0.15203 | 51.3 | 10320481.69 |
| 25 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.94 | 0.15203 | 51.3 | 10767206.2 |
| 30 | -1025 | 9.81 | 2.012 | 3.14 | 184.96 | -24.15 | 2 | 0.078 | 0.945 | 0.15203 | 51.3 | 10824478.57 |

| F1 = cm x Ffk | Fd (N) | Fxtotal (N) | Fytotal (N) | Fxtotal 2 SilinderHor(N) | Fytotal 2 SilinderHor(N) | Ftotal Horizontal Y |
|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| 19809253.97 | 15843.18226 | 19825097.15 | 19825097.15 | 39650194.3 | 39650194.3 | 56065374.73 |
| 22253066.14 | 6840.882926 | 22259907.02 | 22259907.02 | 44519814.04 | 44519814.04 | 62951017.06 |
| 24438121.73 | 5760.174723 | 24443881.9 | 24443881.9 | 48887763.81 | 48887763.81 | 69127298.02 |
| 25904409.03 | 4679.46652 | 25909088.5 | 25909088.5 | 51818177 | 51818177 | 73270902.27 |
| 27025687.56 | 3598.758316 | 27029286.32 | 27029286.32 | 54058572.63 | 54058572.63 | 76438821.7 |
| 27169441.22 | 2518.050113 | 27171959.27 | 27171959.27 | 54343918.53 | 54343918.53 | 76842300.8 |

Sehingga Gaya Total Yang Mengenai TLP =

| FTOTAL Arah 45 (N) |
|----------------------|
| 635292492.7 |
| 712892415.4 |
| 782287594.8 |
| 828829592.1 |
| 864326624.3 |
| 891304912.4 |

Tabel Tingkat Kesalahan Perhitungan Software Dan Teoritis

| KC | T.salah 0 & 90 Degree (%) | T.salah 45 Degree (%) |
|----|-----------------------------|-------------------------|
| 5 | 16.6 | 36.92 |
| 10 | 9.09 | 28.5 |
| 15 | 6.83 | 25.65 |
| 20 | 7.67 | 26.74 |
| 25 | 6.02 | 22.95 |
| 30 | 1.79 | 17.78 |

LAMPIRAN 2
CONTOH QUANTITATIVE CALCUALTION

Pressure

KC 10 arah 0° & 90°

The minimum value of Pressure over SlicePlane#1 is:

-45408 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Pressure over SlicePlane#1 is:

73357 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of SlicePlane#1 is:

52677.7 m²

The area weighted average of Pressure over SlicePlane#1 is:

5577.59 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over SlicePlane#1 is:

15374.3 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure over SlicePlane#1 is:

2579.59 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate total mass flow over SlicePlane#1 is:

1.5389e+007 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure over SlicePlane#1 is:

2519.98 kg m⁻¹ s⁻²

The minimum value of Pressure over kananblkg is:

-34465 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Pressure over kananblkg is:

53548 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of kananblkg is:

1115.9 m²

The area weighted average of Pressure over kananblkg is:

-60582.3 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over kananblkg is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure over kananblkg is:

undefined

The approximate total mass flow over kananblkg is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure over kananblkg is:

undefined

The minimum value of Pressure over kanandepan is:

-53700kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Pressure over kanandepan is:

75360 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of kanandepan is:

1115.9 m²

The area weighted average of Pressure over kanandepan is:

-68923.7 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over kanandepan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure over kanandepan is:

undefined

The approximate total mass flow over kanandepan is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure over kanandepan is:

undefined

The minimum value of Pressure over kiribelakang is:

-33644 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Pressure over kiribelakang

52860 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of kiribelakang is:

1115.9 m²

The area weighted average of Pressure over kiribelakang is:

-59730.8 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over kiribelakang is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure over kiribelakang is:

undefined

The approximate total mass flow over kiribelakang is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure over kiribelakang is:

undefined

The minimum value of Pressure over kiridepan is:

-52593 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Pressure over kiridepan is:

75492 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of kiridepan is:

1115.9 m²

The area weighted average of Pressure over kiridepan is:

-68215.9 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over kiridepan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure over kiridepan is:

undefined

The approximate total mass flow over kiridepan is:

0 kg s⁻¹

The minimum value of Pressure over pontonblkg is:

-12803 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Pressure over pontonblkg is:

48296.9 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of pontonblkg is:

1509.12 m²

The area weighted average of Pressure over pontonblkg is:

-53197.7 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over pontonblkg is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure over pontonblkg is:

undefined

The approximate total mass flow over pontonblkg is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure over pontonblkg is:

undefined



The minimum value of Pressure over pontondepan is:

-51044 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Pressure over pontondepan is:

73788.7 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of pontondepan is:

1509.12 m²

The area weighted average of Pressure over pontondepan is:

-27195.4 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over pontondepan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure over pontondepan is:

undefined

The approximate total mass flow over pontondepan is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure over pontondepan is:

undefined

The minimum value of Pressure over pontonkanann is:

-52483 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Pressure over pontonkanann is:

17241.9 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of pontonkanann is:

1509.12 m²

The area weighted average of Pressure over pontonkanann is:

-43146.6 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over pontonkanann is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure over pontonkanann is:

undefined

The approximate total mass flow over pontonkanann is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure over pontonkanann is:

undefined

The minimum value of Pressure over pontonkiri is:

-53248 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Pressure over pontonkiri is:

16257.5 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of pontonkiri is:

1509.12 m²

The area weighted average of Pressure over pontonkiri is:

-42782.4 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over pontonkiri is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure over pontonkiri is:

undefined

The approximate total mass flow over pontonkiri is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure over pontonkiri is:

undefined

Pressure Gradient KC 5 Arah 45

DISLICEPLANE

The minimum value of Pressure.Gradient.MAG over SlicePlane#1 is:

0.542315 kg m⁻² s⁻²

The maximum value of Pressure.Gradient.MAG over SlicePlane#1 is:

159485 kg m⁻² s⁻²

The approximate area of SlicePlane#1 is:

52677.7 m²

The area weighted average of Pressure.Gradient.MAG over SlicePlane#1 is:

308.85 kg m⁻² s⁻²

The approximate volumetric flow over SlicePlane#1 is:

12252.1 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure.Gradient.MAG over SlicePlane#1 is:

1504.11 kg m⁻² s⁻²

The approximate total mass flow over SlicePlane#1 is:

1.22978e+007 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure.Gradient.MAG over SlicePlane#1 is:

1511.48 kg m⁻² s⁻²

DIPONTON BLKG KANAN

The minimum value of Pressure.Gradient.MAG over pontonblkgkanan is:

59.3186 kg m⁻² s⁻²

The maximum value of Pressure.Gradient.MAG over pontonblkgkanan is:

191386 kg m⁻² s⁻²

The approximate area of pontonblkgkanan is:

1509.12 m²

The area weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontonblkgkanan is:

6676.02 kg m⁻² s⁻²

The approximate volumetric flow over pontonblkgkanan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontonblkgkanan is:

undefined

The approximate total mass flow over pontonblkgkanan is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontonblkgkanan is:

undefined

DIPONTON BLKG KIRI

The minimum value of Pressure.Gradient.MAG over pontonblgkiri is:

61.9699 kg m⁻² s⁻²

The maximum value of Pressure.Gradient.MAG over pontonblgkiri is:

180499 kg m⁻² s⁻²

The approximate area of pontonblgkiri is:

1509.12 m²

The area weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontonblgkiri is:

6653.92 kg m⁻² s⁻²

The approximate volumetric flow over pontonblgkiri is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontonblgkiri is:

undefined

The approximate total mass flow over pontonblgkiri is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontonblgkiri is:

undefined

DIPONTONDEPANKANAN

The minimum value of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankanan is:

88.3387 kg m⁻² s⁻²

The maximum value of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankanan is:

224647 kg m⁻² s⁻²

The approximate area of pontondepankanan is:

1509.12 m²

The area weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankanan is:

11936 kg m⁻² s⁻²

The approximate volumetric flow over pontondepankanan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankanan is:

undefined

The approximate total mass flow over pontondepankanan is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankanan is:

undefined

DIPONTONDEPANKIRI

The minimum value of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankiri is:

84.7065 kg m⁻² s⁻²

The maximum value of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankiri is:

265305 kg m⁻² s⁻²

The approximate area of pontondepankiri is:

1509.12 m²

The area weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankiri is:

11870.9 kg m⁻² s⁻²

The approximate volumetric flow over pontondepankiri is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankiri is:

undefined

The approximate total mass flow over pontondepankiri is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure.Gradient.MAG over pontondepankiri is:

undefined

DIWALLBLKG

The minimum value of Pressure.Gradient.MAG over wallbelakng is:

48.1214 kg m⁻² s⁻²

The maximum value of Pressure.Gradient.MAG over wallbelakng is:

190207 kg m⁻² s⁻²

The approximate area of wallbelakng is:

859.968 m²

The area weighted average of Pressure.Gradient.MAG over wallbelakng is:

8866.85 kg m⁻² s⁻²

The approximate volumetric flow over wallbelakng is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure.Gradient.MAG over wallbelakng is:

undefined

The approximate total mass flow over wallbelakng is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure.Gradient.MAG over wallbelakng is:

undefined

DIWALL DEPAN

The minimum value of Pressure.Gradient.MAG over walldepan is:

30.7655 kg m⁻² s⁻²

The maximum value of Pressure.Gradient.MAG over walldepan is:

312980 kg m⁻² s⁻²

The approximate area of walldepan is:

859.968 m²

The area weighted average of Pressure.Gradient.MAG over walldepan is:

15896.9 kg m⁻² s⁻²

The approximate volumetric flow over walldepan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure.Gradient.MAG over walldepan is:

undefined

The approximate total mass flow over walldepan is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure.Gradient.MAG over walldepan is:

undefined

DIWALL KANAN

The minimum value of Pressure.Gradient.MAG over wallkanan is:

206.795 kg m⁻² s⁻²

The maximum value of Pressure.Gradient.MAG over wallkanan is:

367692 kg m⁻² s⁻²

The approximate area of wallkanan is:

604.032 m²

The area weighted average of Pressure.Gradient.MAG over wallkanan is:

19345.7 kg m⁻² s⁻²

The approximate volumetric flow over wallkanan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure.Gradient.MAG over wallkanan is:

undefined

The approximate total mass flow over wallkanan is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure.Gradient.MAG over wallkanan is:

undefined

DIWALL KIRI

The minimum value of Pressure.Gradient.MAG over wallkiri is:

75.418 kg m⁻² s⁻²

The maximum value of Pressure.Gradient.MAG over wallkiri is:

310390 kg m⁻² s⁻²

The approximate area of wallkiri is:

859.968 m²

The area weighted average of Pressure.Gradient.MAG over wallkiri is:

18335.8 kg m⁻² s⁻²

The approximate volumetric flow over wallkiri is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Pressure.Gradient.MAG over wallkiri is:

undefined

The approximate total mass flow over wallkiri is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Pressure.Gradient.MAG over wallkiri is:

undefined

Total Pressure (KC arah 0° & 90°)

DISLICEPLANE

The minimum value of Total Pressure over SlicePlane#1 is:

-93957.1 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Total Pressure over SlicePlane#1 is:

81287.7 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of SlicePlane#1 is:

52677.7 m²

The area weighted average of Total Pressure over SlicePlane#1 is:

44001.8 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over SlicePlane#1 is:

8029.96 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Total Pressure over SlicePlane#1 is:

37914.2 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate total mass flow over SlicePlane#1 is:

8.03883e+006 kg s⁻¹

The mass weighted average of Total Pressure over SlicePlane#1 is:

37759.4 kg m⁻¹ s⁻²

DIKANAN BLKG

The minimum value of Total Pressure over kananblk is:

-65466.5 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Total Pressure over kananblk is:

31721.7 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of kananblk is:

1115.9 m²

The area weighted average of Total Pressure over kananblk is:

-15089.5 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over kananblk is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Total Pressure over kananblk is:

undefined

The approximate total mass flow over kananblk is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Total Pressure over kananblk is:

undefined

DIKANAN DEPAN

The minimum value of Total Pressure over kanandepan is:

-98506.5 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Total Pressure over kanandepan is:

53663.2 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of kanandepan is:

1115.9 m²

The area weighted average of Total Pressure over kanandepan is:

-16847.3 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over kanandepan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Total Pressure over kanandepan is:

undefined

The approximate total mass flow over kanandepan is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Total Pressure over kanandepan is:

DIKIRIBLKG

The minimum value of Total Pressure over kiribelakang is:

-64731.3 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Total Pressure over kiribelakang is:

30540.6 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of kiribelakang is:

1115.9 m²

The area weighted average of Total Pressure over kiribelakang is:

-14868.3 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over kiribelakang is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Total Pressure over kiribelakang is:

undefined

The approximate total mass flow over kiribelakang is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Total Pressure over kiribelakang is:

undefined

DIKIRIDEPAN

The minimum value of Total Pressure over kiridepan is:

-98686.6 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Total Pressure over kiridepan is:

52997.6 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of kiridepan is:

1115.9 m²

The area weighted average of Total Pressure over kiridepan is:

-16647.1 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over kiridepan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Total Pressure over kiridepan is:

undefined

The approximate total mass flow over kiridepan is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Total Pressure over kiridepan is:

undefined

DIPONTONBLKG

The minimum value of Total Pressure over pontonblkg is:

-36240.3 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Total Pressure over pontonblkg is:

10177.8 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of pontonblkg is:

1509.12 m²

The area weighted average of Total Pressure over pontonblkg is:

-13255.3 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over pontonblkg is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Total Pressure over pontonblkg is:

undefined

The approximate total mass flow over pontonblkg is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Total Pressure over pontonblkg is:

undefined

DIPONTOONDEPAN

The minimum value of Total Pressure over pontondepan is:

-94907 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Total Pressure over pontondepan is:

53790.8 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of pontondepan is:

1509.12 m²

The area weighted average of Total Pressure over pontondepan is:

-6763.02 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over pontondepan is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Total Pressure over pontondepan is:

undefined

The approximate total mass flow over pontondepan is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Total Pressure over pontondepan is:

undefined

DIPONTONKANAN

The minimum value of Total Pressure over pontonkanann is:

-99846.9 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Total Pressure over pontonkanann is:

16366.1 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of pontonkanann is:

1509.12 m²

The area weighted average of Total Pressure over pontonkanann is:

-10700.2 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over pontonkanann is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Total Pressure over pontonkanann is:

undefined

The approximate total mass flow over pontonkanann is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Total Pressure over pontonkanann is:

undefined

DIPONTONKIRI

The minimum value of Total Pressure over pontonkiri is:

-99794.7 kg m⁻¹ s⁻²

The maximum value of Total Pressure over pontonkiri is:

15632.2 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate area of pontonkiri is:

1509.12 m²

The area weighted average of Total Pressure over pontonkiri is:

-10597.3 kg m⁻¹ s⁻²

The approximate volumetric flow over pontonkiri is:

0 m³ s⁻¹

The volumetric flow weighted average of Total Pressure over pontonkiri is:

undefined

The approximate total mass flow over pontonkiri is:

0 kg s⁻¹

The mass weighted average of Total Pressure over pontonkiri is:

undefined

LAMPIRAN 3
CONTOH DATA EXPORT

```

#
# Visualise data export file
#
# Format used:
# ($x,$y,$z) ($1)
#
# Number of locators to process: 1
# Generated on: Tue Jun15 2004
# Nodes outside the domain are not included
#

#
# The following variables will be output for locator 0:
# $x - Coordinates (m)
# $y - Coordinates (m)
# $z - Coordinates (m)
# $1 - Pressure (kg m^-1 s^-2)
#

(8.119333,10.114539,28.950001) (-13669.112305)
(7.553007,10.118849,28.950001) (-17105.357422)
(7.621074,10.235549,28.950001) (-16924.640625)
(7.974547,10.479127,28.950001) (-15267.924805)
(41.186024,43.180111,28.950001) (18407.437500)
(41.182079,42.971539,28.950001) (17669.255859)
(40.936977,43.079704,28.950001) (17647.431641)
(1.362269,52.252930,28.950001) (-49947.910156)
(1.539527,51.812267,28.950001) (-56485.656250)
(1.167617,51.819267,28.950001) (-58913.511719)
(-0.852978,1.678170,28.950001) (40957.414063)
(-0.513499,1.876288,28.950001) (43280.085938)
(-0.512275,1.541029,28.950001) (40867.691406)
(51.844063,44.024353,28.950001) (-21966.921875)
(52.016945,43.895882,28.950001) (-22307.207031)
(51.840584,43.731331,28.950001) (-22327.136719)
(44.249119,52.244751,28.950001) (-24284.896484)
(44.549358,51.833580,28.950001) (-25430.763672)
(44.034359,51.830223,28.950001) (-25524.082031)
(46.070229,51.837276,28.950001) (-24674.447266)
(46.071175,51.839539,28.950001) (-24667.201172)
(46.544113,52.061016,28.950001) (-23214.416016)
(46.625221,51.840252,28.950001) (-23581.595703)
(9.052030,10.144465,28.950001) (-11965.999023)
(9.225800,10.638330,28.950001) (-14283.756836)
(9.269369,10.635808,28.950001) (-14502.133789)
(9.518985,10.176537,28.950001) (-14476.162109)
(10.159183,42.208984,28.950001) (-22753.230469)
(10.628943,42.048786,28.950001) (-21924.023438)
(10.182274,41.807152,28.950001) (-21912.099609)
(42.208977,41.140697,28.950001) (-28975.447266)
(42.049049,40.664913,28.950001) (-20856.681641)
(41.806927,41.117569,28.950001) (-22396.142578)
(40.658176,42.026745,28.950001) (10427.577148)
(40.655231,42.073280,28.950001) (11174.464844)
(41.154106,42.244999,28.950001) (12551.053711)
(41.122799,41.779675,28.950001) (5246.905762)
(42.049171,10.635535,28.950001) (-21125.515625)
(42.209160,10.159375,28.950001) (-29486.357422)

```


(41.806938,10.182516,28.950001) (-22312.515625)
(51.879860,9.459318,28.950001) (-23095.796875)
(51.814865,9.856256,28.950001) (-21486.429688)
(52.150898,9.682584,28.950001) (-22320.765625)
(3.071503,51.836227,28.950001) (-50939.097656)
(3.043444,51.835506,28.950001) (-51008.593750)
(3.067559,51.847698,28.950001) (-50876.144531)
(5.550935,10.153141,28.950001) (-28487.748047)
(5.584514,10.235944,28.950001) (-28014.167969)
(5.620420,10.152586,28.950001) (-28075.994141)
(-0.525379,2.589140,28.950001) (47092.050781)
(-0.690186,2.639009,28.950001) (46872.781250)
(-0.535653,3.052218,28.950001) (48737.574219)
(10.155604,0.475937,28.950001) (-23421.505859)
(10.552424,0.339706,28.950001) (-23245.152344)
(10.177627,0.132185,28.950001) (-22749.039063)
(0.475937,41.144398,28.950001) (-41924.023438)
(0.340210,40.739647,28.950001) (-29660.818359)
(0.132185,41.122372,28.950001) (-31051.919922)
(1.468022,52.218494,28.950001) (-49904.566406)
(1.873343,51.813488,28.950001) (-54451.488281)
(-0.536348,3.081454,28.950001) (48835.105469)
(-0.536227,3.074590,28.950001) (48818.140625)
(-0.542254,3.077346,28.950001) (48810.890625)
(41.115688,43.661743,28.950001) (19002.544922)
(41.184341,43.728146,28.950001) (19273.529297)
(42.040379,52.318031,28.950001) (-21293.833984)
(42.199543,51.860775,28.950001) (-28892.257813)
(41.807255,51.886044,28.950001) (-22505.615234)
(51.863304,42.203140,28.950001) (-23512.216797)
(52.323189,42.040646,28.950001) (-23400.449219)
(51.884861,41.812798,28.950001) (-22835.621094)
(41.113693,0.120885,28.950001) (2994.458984)
(41.180046,-0.250908,28.950001) (-3819.934326)
(40.858822,-0.087177,28.950001) (2690.236816)
(41.152885,9.026272,28.950001) (13852.500977)
(40.742256,9.170707,28.950001) (12556.156250)
(40.741661,9.331973,28.950001) (9933.500000)
(41.121025,9.528872,28.950001) (5755.788574)
(0.399104,-0.561042,28.950001) (-52935.902344)
(0.318941,-0.791404,28.950001) (-45324.937500)
(0.199964,-0.573827,28.950001) (-45841.109375)
(-0.561037,50.900784,28.950001) (19902.869141)
(-0.792198,50.980953,28.950001) (19556.734375)
(-0.573829,51.100037,28.950001) (13390.854492)
(41.802231,-0.577013,28.950001) (-23046.781250)
(41.632122,-0.789788,28.950001) (-17573.001953)
(41.470886,-0.523218,28.950001) (-13966.529297)
(0.323689,52.165672,28.950001) (-42954.277344)
(0.432785,51.852242,28.950001) (-53229.445313)
(0.170517,51.870213,28.950001) (-44152.074219)
(-0.861313,0.324362,28.950001) (19631.589844)
(-0.552227,0.434124,28.950001) (20114.496094)
(-0.570228,0.171203,28.950001) (11667.031250)
(9.118770,51.856606,28.950001) (-16226.317383)
(9.263272,52.286667,28.950001) (-17549.166016)
(9.479435,51.878681,28.950001) (-17400.623047)
(-0.583054,9.486084,28.950001) (17921.607422)

(-0.832983,9.685884,28.950001) (16198.126953)
(-0.523635,9.852249,28.950001) (5800.345215)
(41.116879,51.191967,28.950001) (2967.996582)
(40.870419,51.384190,28.950001) (2372.653320)
(41.175282,51.547253,28.950001) (-3681.899658)
(41.173512,44.299019,28.950001) (19709.716797)
(41.182953,43.823135,28.950001) (19362.490234)
(40.836956,44.170013,28.950001) (19139.044922)
(0.107736,10.186921,28.950001) (-30394.615234)
(-0.245373,10.127171,28.950001) (-12778.511719)
(-0.082822,10.425399,28.950001) (-20287.908203)
(51.111057,-0.582176,28.950001) (-15687.786133)
(51.656906,-0.486255,28.950001) (-20218.613281)
(51.424854,-0.971534,28.950001) (-17542.703125)
(10.550845,9.352554,28.950001) (-22532.210938)
(10.547664,9.158827,28.950001) (-22959.611328)
(10.160659,9.015227,28.950001) (-23451.328125)
(10.188680,9.536774,28.950001) (-22291.849609)
(9.349634,40.739159,28.950001) (-14681.418945)
(9.159817,40.742432,28.950001) (-13795.571289)
(9.015227,41.139809,28.950001) (-12240.519531)
(9.535443,41.112267,28.950001) (-14709.674805)
(52.144291,50.975388,28.950001) (-24093.900391)
(51.853111,50.876057,28.950001) (-24394.921875)
(51.871166,51.122883,28.950001) (-23957.019531)
(-0.586223,41.795776,28.950001) (16404.833984)
(-0.526513,41.473701,28.950001) (5457.822266)
(-0.793583,41.627880,28.950001) (15547.205078)
(9.251200,-1.079487,28.950001) (-17891.138672)
(9.057323,-0.562351,28.950001) (-16271.161133)
(9.503984,-0.586220,28.950001) (-17787.447266)
(50.872528,51.861465,28.950001) (-14204.986328)
(50.977661,52.172295,28.950001) (-15249.518555)
(51.128441,51.877991,28.950001) (-15449.183594)
(40.653599,9.248240,28.950001) (11680.854492)
(50.742783,10.157021,28.950001) (-13433.019531)
(50.939316,10.686861,28.950001) (-15150.826172)
(50.951786,10.687579,28.950001) (-15208.922852)
(51.207504,10.183470,28.950001) (-15597.347656)
(50.951294,40.604019,28.950001) (-14999.385742)
(50.938576,40.604752,28.950001) (-14937.234375)
(50.742573,41.142960,28.950001) (-13093.630859)
(51.207443,41.116497,28.950001) (-15365.013672)
(10.683204,50.951935,28.950001) (-23061.251953)
(10.682483,50.939392,28.950001) (-23082.531250)
(10.157038,50.742573,28.950001) (-23498.257813)
(10.183502,51.207439,28.950001) (-22709.644531)
(40.630539,42.052162,28.950001) (10935.010742)
(2.784839,52.201832,28.950001) (-49194.824219)
(2.586547,51.825367,28.950001) (-52081.054688)
(7.110565,10.497085,28.950001) (-19397.869141)
(7.490556,10.120087,28.950001) (-17480.539063)
(6.966360,10.132486,28.950001) (-20595.888672)
(50.945591,10.694304,28.950001) (-15185.399414)
(10.689907,50.945705,28.950001) (-23073.066406)
(50.944969,40.597042,28.950001) (-14973.721680)
(51.880081,0.156448,28.950001) (-24171.927734)
(52.124435,-0.067868,28.950001) (-23738.033203)

(51.789997,-0.342667,28.950001) (-21755.439453)
(8.794841,10.131299,28.950001) (-11546.501953)
(40.915043,42.744789,28.950001) (15775.587891)
(41.167664,42.503403,28.950001) (15093.208008)
(8.208207,10.237300,28.950001) (-13515.085938)
(8.323119,10.117603,28.950001) (-12707.027344)
(-0.519262,1.169619,28.950001) (36850.554688)
(-0.854524,1.504022,28.950001) (39080.863281)
(-0.923663,2.786745,28.950001) (46880.625000)
(-1.031741,2.906030,28.950001) (46971.687500)
(7.891160,10.561624,28.950001) (-15931.274414)
(7.928710,10.599501,28.950001) (-15864.592773)
(0.896374,51.827694,28.950001) (-59375.589844)
(1.307368,52.258327,28.950001) (-49968.937500)
(-0.748421,1.011413,28.950001) (34246.781250)
(-0.527710,0.897445,28.950001) (32284.664063)
(46.341125,52.262974,28.950001) (-23143.449219)
(46.241257,52.357990,28.950001) (-23063.082031)
(10.144236,42.588844,28.950001) (-22759.632813)
(10.136504,42.937988,28.950001) (-22438.929688)
(10.511244,42.781013,28.950001) (-22523.376953)
(42.588741,41.155693,28.950001) (-30104.904297)
(42.937992,41.163448,28.950001) (-28405.132813)
(42.781197,40.779377,28.950001) (-25432.759766)
(42.781254,10.511322,28.950001) (-26087.845703)
(42.938293,10.136588,28.950001) (-29598.734375)
(42.588932,10.144351,28.950001) (-31219.023438)
(51.842625,8.668357,28.950001) (-23619.939453)
(52.117165,8.522430,28.950001) (-23612.568359)
(51.836681,8.403931,28.950001) (-23360.978516)
(41.161343,9.771065,28.950001) (493.186981)
(40.982574,10.051847,28.950001) (-1502.626465)
(41.243721,10.056278,28.950001) (-5695.565918)
(10.137655,0.913365,28.950001) (-23597.482422)
(10.513382,0.579497,28.950001) (-23350.693359)
(0.913365,41.162346,28.950001) (-46447.183594)
(0.580061,40.779297,28.950001) (-32951.914063)
(1.347456,52.292133,28.950001) (-49239.625000)
(40.622639,42.061378,28.950001) (11037.013672)
(51.754532,10.275832,28.950001) (-19556.841797)
(51.755978,10.055980,28.950001) (-20581.408203)
(51.519604,10.126095,28.950001) (-18337.056641)
(10.126154,51.519527,28.950001) (-21765.285156)
(10.329386,51.342293,28.950001) (-22387.755859)
(51.519527,41.173847,28.950001) (-18172.279297)
(51.342445,40.969589,28.950001) (-16146.224609)
(6.168997,10.303647,28.950001) (-24567.587891)
(6.299480,10.144284,28.950001) (-24343.519531)
(41.164127,8.807844,28.950001) (16108.290039)
(-0.986403,1.699753,28.950001) (40738.925781)
(43.143002,52.263943,28.950001) (-25372.406250)
(43.334740,51.829655,28.950001) (-27492.486328)
(42.945930,51.834164,28.950001) (-29533.039063)
(41.092327,8.153885,28.950001) (19456.146484)
(41.178051,8.250085,28.950001) (19269.730469)
(41.180447,8.067636,28.950001) (19837.880859)
(41.165825,41.517662,28.950001) (-292.695709)
(40.995060,41.661297,28.950001) (4218.698730)

(9.245584,10.661130,28.950001) (-14430.355469)
(42.563961,51.844666,28.950001) (-30720.917969)
(42.983521,52.260502,28.950001) (-25932.152344)
(52.154510,43.483147,28.950001) (-22899.837891)
(51.837982,43.331673,28.950001) (-22820.439453)
(52.337021,43.561287,28.950001) (-22982.783203)
(9.826273,-0.526498,28.950001) (-19738.992188)
(9.646417,-0.736771,28.950001) (-18447.085938)
(9.258036,-1.088351,28.950001) (-17925.544922)
(51.848850,42.565361,28.950001) (-23662.736328)
(52.310463,42.161480,28.950001) (-23451.433594)
(10.051058,10.320070,28.950001) (-18478.365234)
(10.056937,10.056937,28.950001) (-19952.425781)
(9.781140,10.134009,28.950001) (-17003.046875)
(42.232861,-0.549441,28.950001) (-30276.503906)
(42.530544,-0.533940,28.950001) (-31746.568359)
(42.396160,-0.830928,28.950001) (-27569.648438)
(0.989177,-0.536577,28.950001) (-60763.437500)
(0.829465,-0.719195,28.950001) (-53569.226563)
(-0.536578,50.310844,28.950001) (34799.449219)
(-0.719933,50.470695,28.950001) (32064.812500)
(2.154576,52.054352,28.950001) (-51105.800781)
(2.397806,51.821537,28.950001) (-52612.792969)
(2.076988,51.817745,28.950001) (-53380.339844)
(-0.594110,2.524473,28.950001) (46587.222656)
(-0.521505,2.398209,28.950001) (46129.246094)
(10.675663,0.405579,28.950001) (-23309.794922)
(0.405595,40.613628,28.950001) (-27808.578125)
(1.401158,52.294472,28.950001) (-49129.957031)
(42.767750,-0.771348,28.950001) (-28569.583984)
(43.006390,-0.521857,28.950001) (-30343.707031)
(42.514065,-1.047322,28.950001) (-24627.675781)
(40.697472,0.691854,28.950001) (11762.897461)
(41.147339,0.890016,28.950001) (13141.460938)
(41.133434,0.482317,28.950001) (8605.560547)
(50.943111,10.696389,28.950001) (-15186.893555)
(43.689007,41.167782,28.950001) (-24168.060547)
(43.552948,40.857624,28.950001) (-23286.675781)
(43.405067,41.167492,28.950001) (-25505.710938)
(10.132205,43.689007,28.950001) (-21589.589844)
(10.432977,43.552940,28.950001) (-21863.726563)
(10.132490,43.405094,28.950001) (-21897.068359)
(43.405441,10.132520,28.950001) (-26053.320313)
(43.553337,10.431426,28.950001) (-23966.283203)
(43.689426,10.132226,28.950001) (-24597.560547)
(41.164101,43.746387,28.950001) (19265.808594)
(41.183578,43.764099,28.950001) (19322.246094)
(52.123413,8.137306,28.950001) (-23245.279297)
(51.832073,7.848958,28.950001) (-22619.990234)
(52.378780,8.386351,28.950001) (-23610.082031)
(48.318848,41.165417,28.950001) (-18969.449219)
(48.273510,41.070469,28.950001) (-18958.892578)
(48.231533,41.165249,28.950001) (-19175.806641)
(10.134583,48.318848,28.950001) (-21086.900391)
(10.225820,48.273506,28.950001) (-21101.273438)
(10.134752,48.231533,28.950001) (-20979.882813)
(48.667679,10.479052,28.950001) (-18342.693359)
(48.984550,10.132527,28.950001) (-17559.263672)

(48.319435,10.134583,28.950001) (-19565.203125)
 (49.140205,10.132283,28.950001) (-17000.119141)
 (49.073624,10.258495,28.950001) (-17203.087891)
 (48.872135,10.657243,28.950001) (-17592.671875)
 (49.139732,41.167717,28.950001) (-16694.529297)
 (49.058880,40.999363,28.950001) (-16895.416016)
 (48.984154,41.167473,28.950001) (-17193.914063)
 (10.132283,49.139732,28.950001) (-22076.583984)
 (10.297410,49.058876,28.950001) (-22104.933594)
 (10.132526,48.984154,28.950001) (-21891.101563)
 (7.421297,41.157501,28.950001) (-17583.535156)
 (8.061813,41.159039,28.950001) (-14240.940430)
 (7.920791,40.838619,28.950001) (-15325.954102)
 (7.548919,40.890297,28.950001) (-17209.271484)
 (10.142525,7.421288,28.950001) (-22109.707031)
 (10.141084,8.061974,28.950001) (-22830.279297)
 (10.452181,7.920815,28.950001) (-22750.910156)
 (10.402096,7.548945,28.950001) (-22319.662109)
 (47.477104,41.163910,28.950001) (-20793.117188)
 (47.497921,41.163929,28.950001) (-20752.558594)
 (47.487103,41.141357,28.950001) (-20734.472656)
 (10.136092,47.477104,28.950001) (-20135.164063)
 (10.136071,47.497921,28.950001) (-20154.853516)
 (10.157913,47.487103,28.950001) (-20163.853516)
 (47.881573,10.520081,28.950001) (-19959.710938)
 (48.232025,10.134753,28.950001) (-19783.458984)
 (47.498596,10.136071,28.950001) (-21307.595703)
 (10.218904,46.758755,28.950001) (-19739.271484)
 (10.136731,46.721310,28.950001) (-19648.771484)
 (10.136298,47.233868,28.950001) (-19980.427734)
 (46.758759,41.079762,28.950001) (-21838.457031)
 (46.721310,41.163273,28.950001) (-22056.982422)
 (47.233868,41.163704,28.950001) (-21197.726563)
 (46.759304,10.217798,28.950001) (-22378.714844)
 (47.233299,10.136299,28.950001) (-21749.505859)
 (46.721935,10.136731,28.950001) (-22598.078125)
 (52.136662,2.238672,28.950001) (-23548.314453)
 (51.833565,2.086215,28.950001) (-23453.369141)
 (51.834057,2.378434,28.950001) (-23050.437500)
 (51.835732,2.910513,28.950001) (-22259.382813)
 (52.097904,2.643477,28.950001) (-22908.166016)
 (45.964531,41.162945,28.950001) (-22767.646484)
 (46.677361,41.163258,28.950001) (-22113.060547)
 (46.625832,41.056599,28.950001) (-21949.074219)
 (46.056026,40.958126,28.950001) (-22277.685547)
 (10.137058,45.964531,28.950001) (-19700.667969)
 (10.136744,46.677361,28.950001) (-19638.402344)
 (10.241747,46.625824,28.950001) (-19746.150391)
 (10.338692,46.056034,28.950001) (-19891.015625)
 (47.094120,40.735825,28.950001) (-20664.205078)
 (47.225189,40.599369,28.950001) (-20188.111328)
 (10.557329,47.094109,28.950001) (-20204.314453)
 (10.688503,47.225174,28.950001) (-20436.492188)
 (46.678078,10.136744,28.950001) (-22656.488281)
 (8.818316,41.147285,28.950001) (-12062.123047)
 (8.527452,40.838253,28.950001) (-13448.305664)
 (8.232250,41.157776,28.950001) (-13513.754883)
 (10.153127,8.818908,28.950001) (-23576.916016)



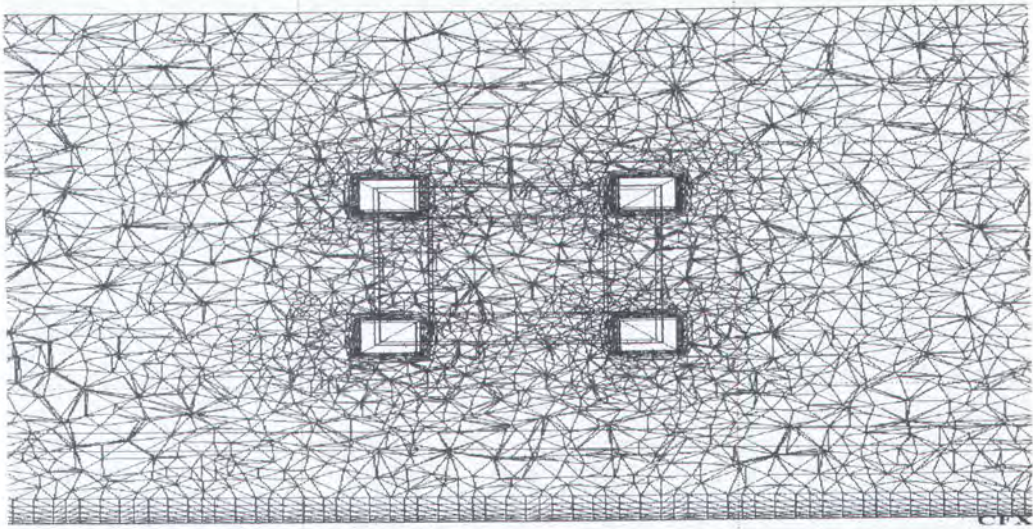
(10.461328,8.527518,28.950001) (-23222.193359)
(10.142377,8.232227,28.950001) (-23054.994141)
(10.134617,44.447517,28.950001) (-20895.601563)
(10.373294,44.337376,28.950001) (-21170.320313)
(10.133780,44.220757,28.950001) (-21095.843750)
(44.447521,41.165382,28.950001) (-22649.376953)
(44.337353,40.919697,28.950001) (-22120.599609)
(44.220757,41.166218,28.950001) (-22744.937500)
(43.956917,10.401660,28.950001) (-23192.431641)
(44.221268,10.133784,28.950001) (-23451.919922)
(51.989296,3.810938,28.950001) (-21101.990234)
(51.837132,3.735213,28.950001) (-21035.589844)
(51.837280,3.880356,28.950001) (-20861.843750)
(43.646084,10.663250,28.950001) (-22960.830078)
(45.857018,41.162979,28.950001) (-22823.626953)
(45.912899,41.104664,28.950001) (-22672.476563)
(10.137023,45.857018,28.950001) (-19747.365234)
(10.193623,45.912899,28.950001) (-19763.460938)
(45.857712,10.137024,28.950001) (-23356.183594)
(45.913536,10.249828,28.950001) (-23081.503906)
(45.965164,10.137058,28.950001) (-23302.343750)
(0.463371,-1.064346,28.950001) (-41311.019531)
(-1.062534,50.835773,28.950001) (25323.927734)
(10.136279,45.037663,28.950001) (-20338.755859)
(10.136608,45.206554,28.950001) (-20191.869141)
(10.312993,45.124981,28.950001) (-20374.324219)
(45.037663,41.163723,28.950001) (-22927.373047)
(45.206554,41.163391,28.950001) (-22970.931641)
(45.124966,40.980225,28.950001) (-22614.996094)
(45.125763,10.225367,28.950001) (-23136.289063)
(45.207150,10.136608,28.950001) (-23332.544922)
(45.038288,10.136279,28.950001) (-23282.005859)
(49.839832,10.362994,28.950001) (-14698.091797)
(49.954510,10.135200,28.950001) (-14009.057617)
(49.737118,10.133088,28.950001) (-14702.922852)
(10.133091,49.736828,28.950001) (-22830.865234)
(10.135204,49.954170,28.950001) (-23095.855469)
(10.365555,49.839489,28.950001) (-23000.521484)
(49.736828,41.166908,28.950001) (-14521.259766)
(49.954170,41.164795,28.950001) (-13784.013672)
(49.839432,40.928577,28.950001) (-14511.926758)
(52.214729,1.459861,28.950001) (-24602.464844)
(51.837532,1.268722,28.950001) (-24578.246094)
(51.834057,1.629133,28.950001) (-24094.207031)
(50.693054,-0.988021,28.950001) (-15124.260742)
(50.511379,-0.957238,28.950001) (-14715.034180)
(50.334850,-0.551621,28.950001) (-13529.169922)
(50.894993,-0.570470,28.950001) (-14631.328125)
(51.837612,4.559688,28.950001) (-20304.832031)
(51.837681,4.633656,28.950001) (-20273.310547)
(51.916931,4.598264,28.950001) (-20380.212891)
(51.821526,41.458363,28.950001) (-21411.080078)
(51.884281,41.313957,28.950001) (-20757.568359)
(51.756027,41.243973,28.950001) (-20364.812500)
(51.826450,50.366947,28.950001) (-24639.929688)
(51.931126,50.332859,28.950001) (-24596.929688)
(51.819397,50.133240,28.950001) (-24512.224609)
(-0.541241,8.723573,28.950001) (36850.632813)

(-0.689949,8.666900,28.950001) (37940.054688)
(-0.728105,9.163479,28.950001) (27514.068359)
(-0.559352,9.119884,28.950001) (28537.933594)
(-0.532999,8.382095,28.950001) (41468.972656)
(52.163692,7.356549,28.950001) (-22380.066406)
(51.834007,7.029385,28.950001) (-21682.009766)
(51.831909,7.656003,28.950001) (-22369.316406)
(52.334099,43.357468,28.950001) (-23195.980469)
(51.958145,6.090252,28.950001) (-20834.302734)
(51.837719,5.430912,28.950001) (-20264.763672)
(51.836990,6.143701,28.950001) (-20756.373047)
(52.243450,4.992040,28.950001) (-20640.816406)
(51.837757,5.384225,28.950001) (-20233.763672)
(52.405018,4.833917,28.950001) (-20887.414063)
(6.604403,41.153847,28.950001) (-21860.087891)
(6.571817,41.120514,28.950001) (-21990.482422)
(6.541311,41.153713,28.950001) (-22193.353516)
(10.146158,6.604402,28.950001) (-21309.017578)
(10.179384,6.571817,28.950001) (-21298.082031)
(10.146292,6.541314,28.950001) (-21243.304688)
(51.836800,6.207996,28.950001) (-20810.355469)
(50.373772,51.836758,28.950001) (-13245.958008)
(50.112858,51.829956,28.950001) (-13497.674805)
(50.212337,52.276562,28.950001) (-14557.602539)
(50.245228,52.277061,28.950001) (-14524.938477)
(50.219963,52.298519,28.950001) (-14587.007813)
(7.470102,-0.541864,28.950001) (-21381.546875)
(8.018688,-0.540629,28.950001) (-18369.771484)
(7.801351,-1.025649,28.950001) (-20286.441406)
(7.696986,-1.013309,28.950001) (-20840.630859)
(-0.540631,43.280731,28.950001) (44788.976563)
(-1.028131,43.497639,28.950001) (44476.140625)
(-1.015529,43.603294,28.950001) (45093.828125)
(-0.541868,43.829674,28.950001) (47792.699219)
(-1.009512,2.682695,28.950001) (46256.886719)
(7.529001,10.119400,28.950001) (-17251.695313)
(8.778159,-0.551694,28.950001) (-16122.714844)
(8.528637,-0.804697,28.950001) (-17113.783203)
(8.276718,-0.542569,28.950001) (-17268.947266)
(-0.542569,43.023067,28.950001) (42709.277344)
(-0.551698,42.521397,28.950001) (36071.179688)
(-1.083274,42.778168,28.950001) (38747.898438)
(-1.083273,42.778175,28.950001) (38748.031250)
(41.457645,51.826572,28.950001) (-13548.085938)
(41.642254,52.060402,28.950001) (-17722.583984)
(41.986778,52.392147,28.950001) (-19534.775391)
(7.754158,40.666264,28.950001) (-16374.284180)
(10.619623,7.754094,28.950001) (-22603.957031)
(41.141888,50.808552,28.950001) (8868.672852)
(41.158699,50.437298,28.950001) (12947.434570)
(40.955772,50.616928,28.950001) (11448.931641)
(-0.517734,2.079075,28.950001) (44581.093750)
(-0.620879,2.159802,28.950001) (44700.429688)
(-0.988543,2.326052,28.950001) (44654.421875)
(10.124680,1.726601,28.950001) (-22707.589844)
(10.123785,1.951786,28.950001) (-22416.492188)
(10.357913,1.847004,28.950001) (-22664.718750)
(1.726601,41.175323,28.950001) (-41411.355469)

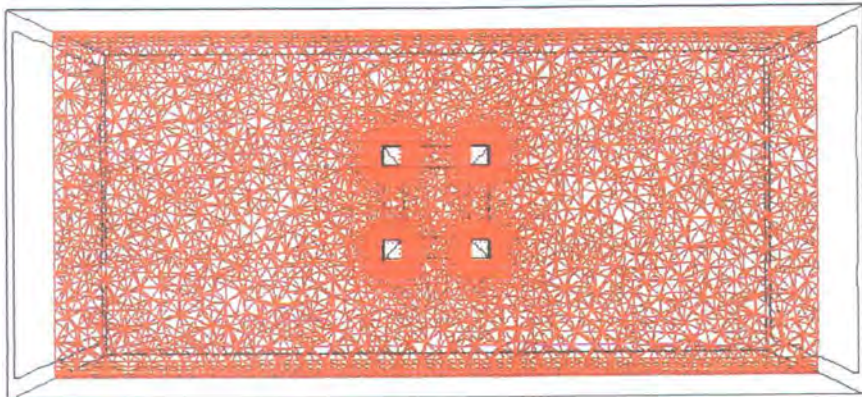
(1.951786,41.176216,28.950001) (-39890.875000)
(1.846997,40.943909,28.950001) (-37843.195313)
(-0.348805,51.787186,28.950001) (-16321.708008)
(-0.073598,52.135349,28.950001) (-30063.029297)
(0.180628,52.368027,28.950001) (-33676.546875)
(-0.487203,-0.348571,28.950001) (-6603.229492)
(-0.836606,-0.073087,28.950001) (9549.608398)
(-1.063562,0.181128,28.950001) (19057.457031)
(50.296700,52.306805,28.950001) (-14682.956055)
(0.861739,10.148745,28.950001) (-45932.609375)
(1.067784,10.580894,28.950001) (-36090.363281)
(1.249389,10.141640,28.950001) (-44872.613281)
(6.657257,-0.545355,28.950001) (-26462.203125)
(6.571936,-0.634709,28.950001) (-26966.214844)
(6.491365,-0.545697,28.950001) (-27547.679688)
(-0.545700,44.807953,28.950001) (50547.515625)
(-0.545359,44.642544,28.950001) (50220.332031)
(-0.718107,44.727470,28.950001) (49980.234375)
(10.417430,50.224239,28.950001) (-23355.685547)
(10.146864,50.488968,28.950001) (-23583.857422)
(10.680317,49.976837,28.950001) (-23140.000000)
(50.224007,40.871956,28.950001) (-13656.505859)
(50.488972,41.153137,28.950001) (-12762.163086)
(49.976471,40.603432,28.950001) (-14776.654297)
(9.852268,51.816410,28.950001) (-19668.791016)
(9.986636,51.880554,28.950001) (-20482.886719)
(10.056027,51.756027,28.950001) (-21011.099609)
(7.753866,-1.074383,28.950001) (-20611.484375)
(4.239378,41.168430,28.950001) (-34613.601563)
(4.204198,41.130623,28.950001) (-34557.902344)
(4.167943,41.169334,28.950001) (-34857.738281)
(10.131574,4.239378,28.950001) (-20098.496094)
(10.169494,4.204197,28.950001) (-20140.500000)
(10.130668,4.167943,28.950001) (-20132.085938)
(41.161610,5.782504,28.950001) (21138.261719)
(41.136200,5.794869,28.950001) (21119.822266)
(41.161739,5.806090,28.950001) (21148.365234)
(43.106548,52.361511,28.950001) (-24693.542969)
(1.798142,-0.525996,28.950001) (-56216.546875)
(1.888784,-0.525623,28.950001) (-55683.582031)
(1.846391,-0.617155,28.950001) (-54730.335938)
(-0.525620,49.410965,28.950001) (44372.550781)
(-0.612164,49.453514,28.950001) (43880.496094)
(-0.525993,49.501888,28.950001) (43746.800781)
(43.268497,-0.518332,28.950001) (-29033.748047)
(43.825172,-0.519102,28.950001) (-27247.986328)
(43.527336,-0.814698,28.950001) (-26209.132813)
(5.769786,41.155449,28.950001) (-26522.156250)
(5.789055,41.155415,28.950001) (-26407.929688)
(5.779081,41.145031,28.950001) (-26439.343750)
(10.144552,5.769786,28.950001) (-20467.666016)
(10.144588,5.789055,28.950001) (-20483.984375)
(10.154713,5.779082,28.950001) (-20483.179688)
(52.048855,43.120106,28.950001) (-23244.105469)
(52.050781,42.664604,28.950001) (-23654.847656)
(51.840965,42.953693,28.950001) (-23310.046875)
(52.391399,42.171898,28.950001) (-23439.275391)
(52.397449,42.084324,28.950001) (-23448.966797)

(52.366711,42.068672,28.950001) (-23441.767578)
(52.398258,42.049244,28.950001) (-23424.486328)
(52.391682,41.990467,28.950001) (-23235.257813)
(52.059975,41.645237,28.950001) (-22297.271484)
(52.346279,41.567760,28.950001) (-21978.601563)
(10.130122,41.494823,28.950001) (-20657.294922)
(10.207578,41.328499,28.950001) (-19904.656250)
(10.056004,41.243999,28.950001) (-19614.101563)
(41.328239,41.091568,28.950001) (-8087.302246)
(41.243809,41.243809,28.950001) (-6083.387207)
(41.494854,41.169647,28.950001) (-13634.378906)
(41.136837,7.376537,28.950001) (20718.951172)
(41.179390,7.425408,28.950001) (20739.605469)
(41.178463,7.331444,28.950001) (20827.669922)
(41.494923,10.130456,28.950001) (-13341.676758)
(41.653801,10.343989,28.950001) (-17449.984375)
(42.007187,10.696410,28.950001) (-19584.300781)
(42.060413,10.699213,28.950001) (-20331.517578)
(41.165997,6.180918,28.950001) (21192.753906)
(52.052197,0.312075,28.950001) (-24643.376953)
(51.862175,0.473974,28.950001) (-24792.359375)
(52.368202,0.054516,28.950001) (-24162.859375)
(52.350082,42.953945,28.950001) (-23603.103516)
(41.155624,1.691982,28.950001) (17078.003906)
(40.853218,1.840770,28.950001) (17112.326172)
(41.155067,1.982490,28.950001) (17760.949219)
(-0.385238,41.119652,28.950001) (-5338.990723)
(-0.456471,41.243530,28.950001) (-2454.392334)
(-0.252752,41.185078,28.950001) (-12719.735352)
(10.179518,-0.385058,28.950001) (-21344.843750)
(10.056471,-0.456471,28.950001) (-21094.072266)
(10.114920,-0.252752,28.950001) (-21683.164063)
(9.253569,40.632496,28.950001) (-14370.170898)
(9.284523,40.600052,28.950001) (-14555.142578)
(40.856915,4.418849,28.950001) (20207.957031)
(40.937679,4.854462,28.950001) (20463.816406)
(41.153885,4.957618,28.950001) (20714.187500)
(41.149158,4.285930,28.950001) (20435.035156)
(10.657381,9.254404,28.950001) (-22745.935547)
(10.689791,9.286031,28.950001) (-22630.271484)
(4.185312,-0.531941,28.950001) (-45633.921875)
(4.145549,-0.614247,28.950001) (-45412.632813)
(3.423480,-0.529986,28.950001) (-50216.230469)
(3.422877,-0.528775,28.950001) (-50226.609375)
(-0.531939,47.114174,28.950001) (51295.304688)
(-0.612686,47.153461,28.950001) (51064.375000)
(-0.528976,47.877018,28.950001) (50209.140625)
(-0.528771,47.877117,28.950001) (50209.433594)
(51.761154,51.874218,28.950001) (-20510.814453)
(51.762218,51.762218,28.950001) (-21020.863281)
(51.653248,51.794201,28.950001) (-20009.826172)
(51.845810,0.881474,28.950001) (-24934.332031)
(52.188305,0.733136,28.950001) (-25047.982422)
(52.359772,0.665874,28.950001) (-24988.601563)
(5.729568,41.099426,28.950001) (-26588.552734)
(5.440832,41.158218,28.950001) (-28503.335938)
(10.195716,5.733574,28.950001) (-20490.119141)
(10.141783,5.440832,28.950001) (-20269.208984)

LAMPIRAN 4
CONTOH VISUALISASI MESHING

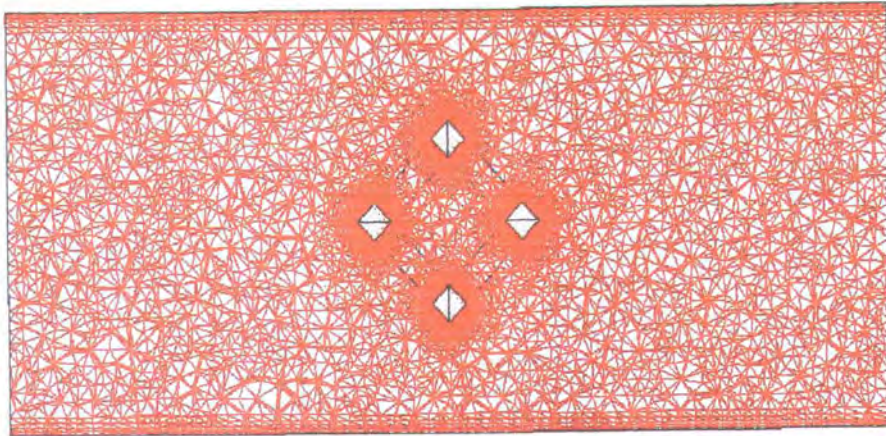


Gambar 4.1.a. Meshing Kurang Sempurna (Surface Edge Length = $2.5 - 2D$)



CFX

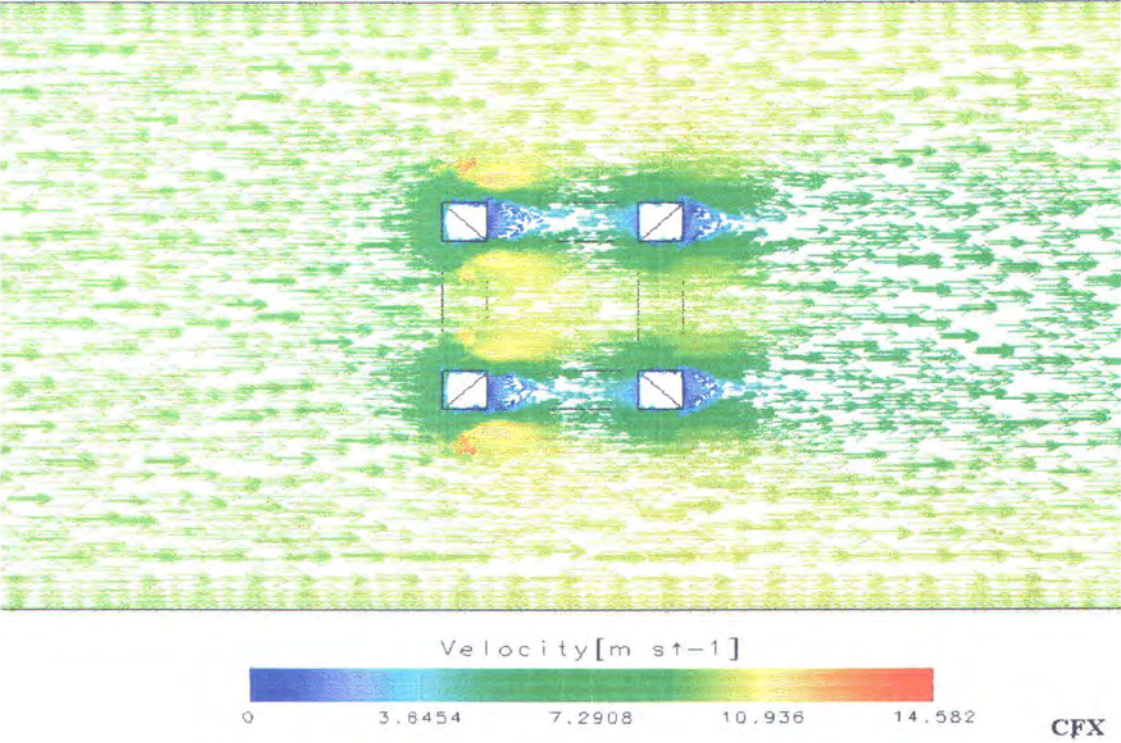
Gambar 4.2.a. Meshing Rapat Arah 0° & 90° (Surface Edge Length = $0.6 - 2D$)



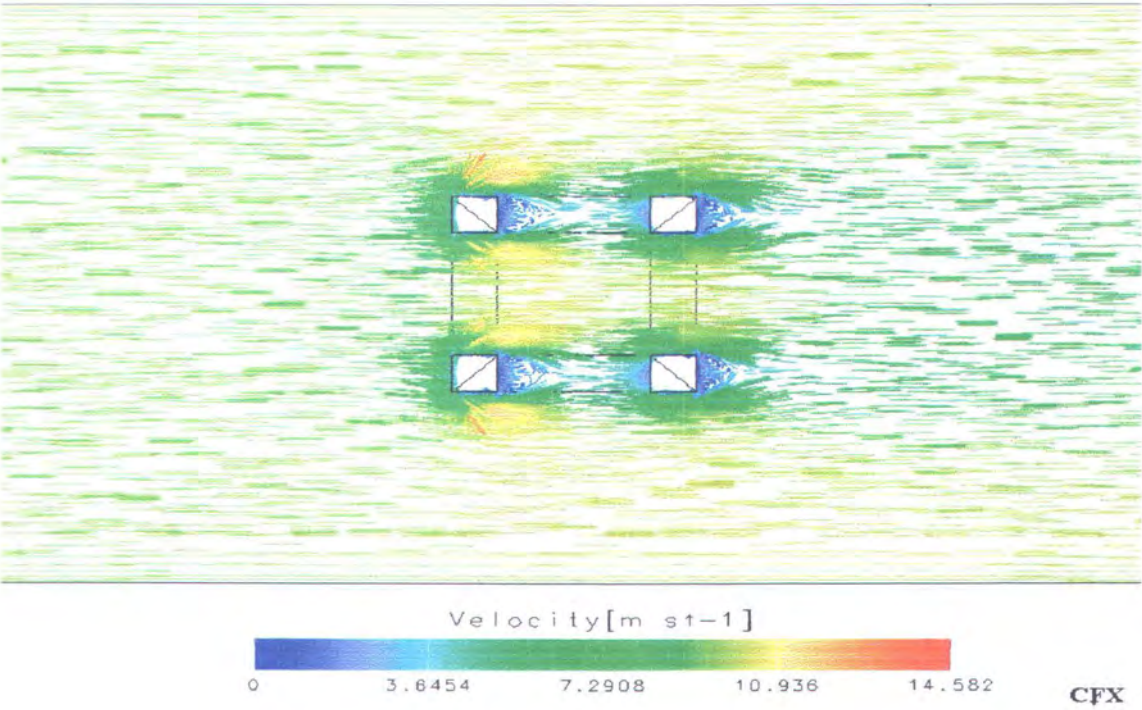
CFX

Gambar 4.3.a. Meshing Rapat Arah 45°(Surface Edge Length = $0.6 - 2D$)

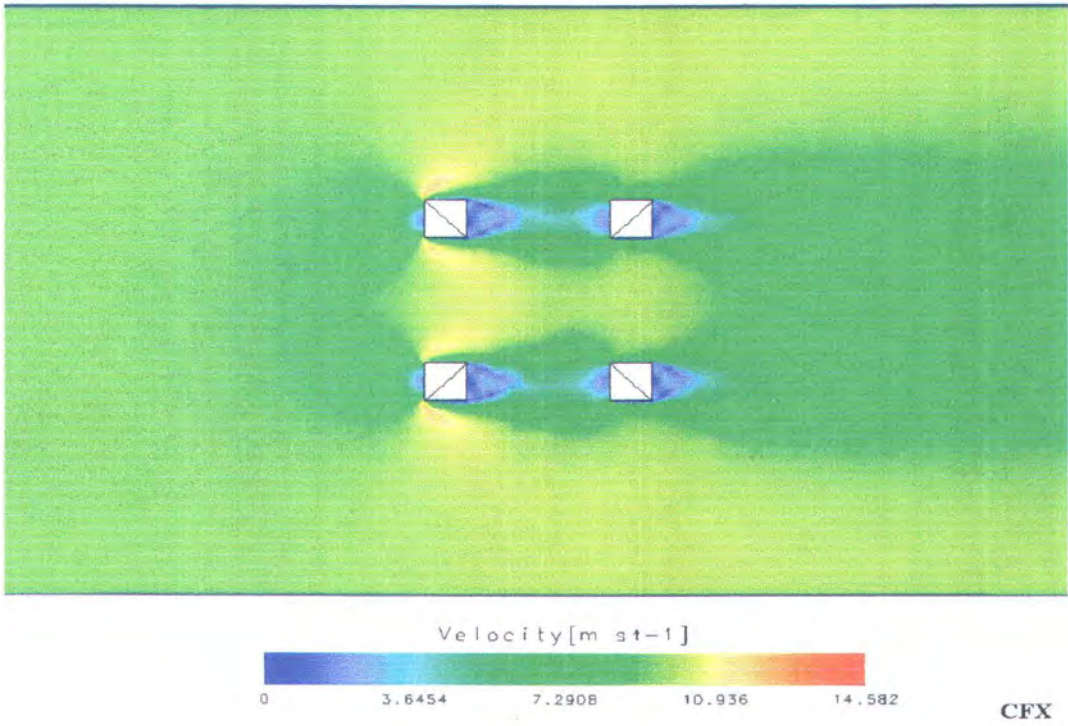
LAMPIRAN 5
CONTOH VISUALISASI KECEPATAN



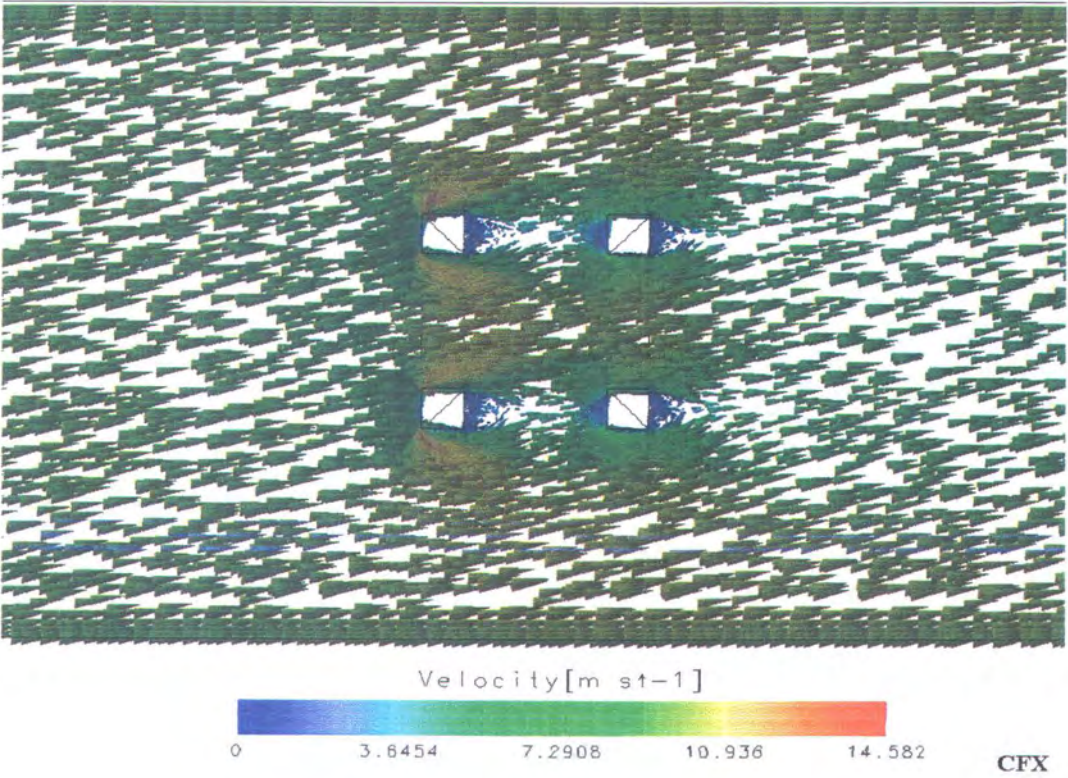
Gambar 5.1.a. Visual Vektor Velocity- x Pada KC 5 Arah 0° & 90°



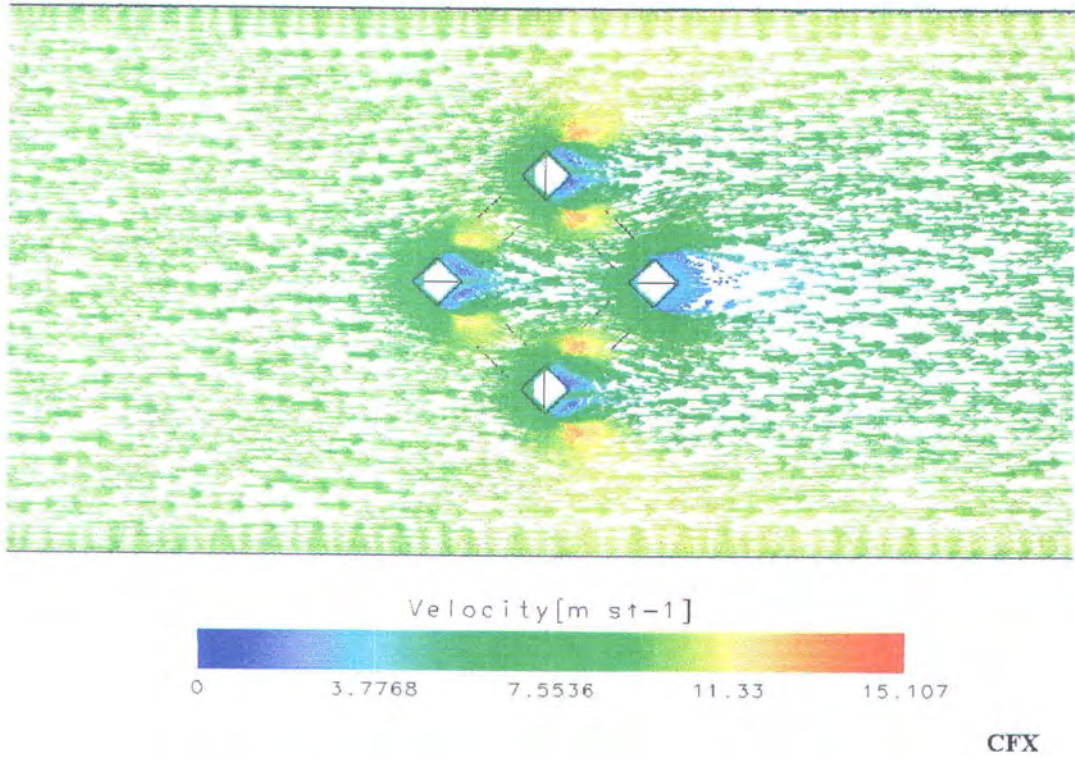
Gambar 5.1.b. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 5 Arah 0° & 90°



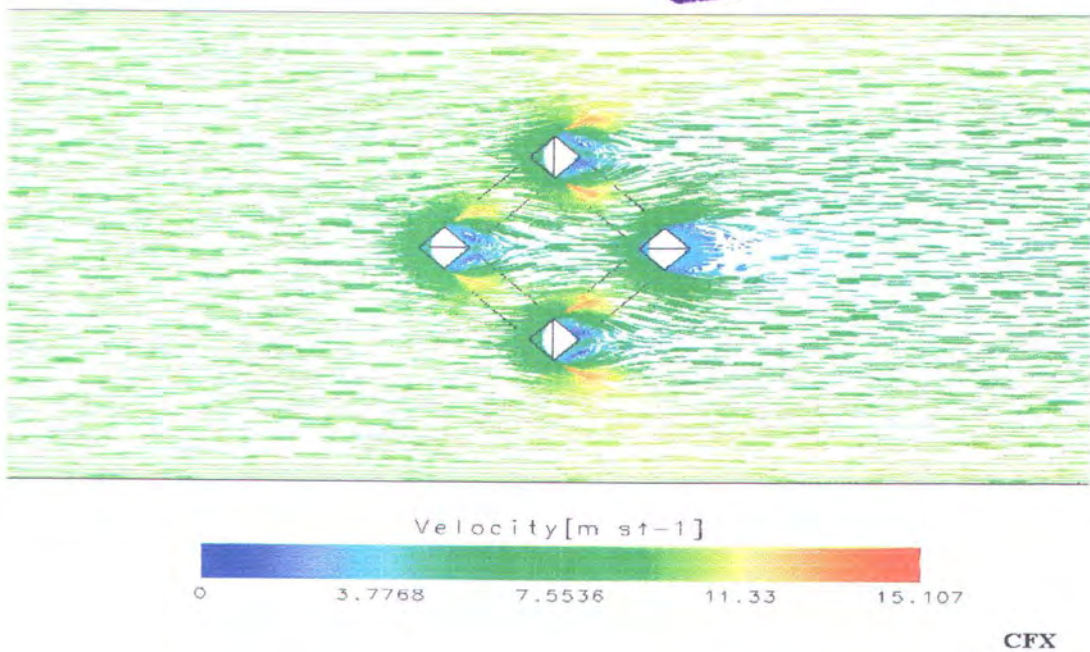
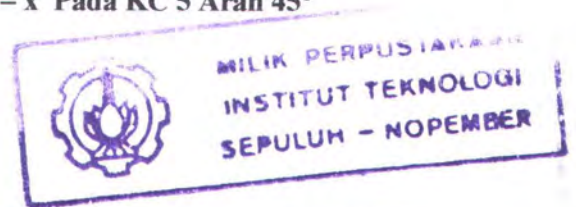
Gambar 5.1.c. Visual Surface Velocity –x Pada KC 5 Arah 0° & 90°



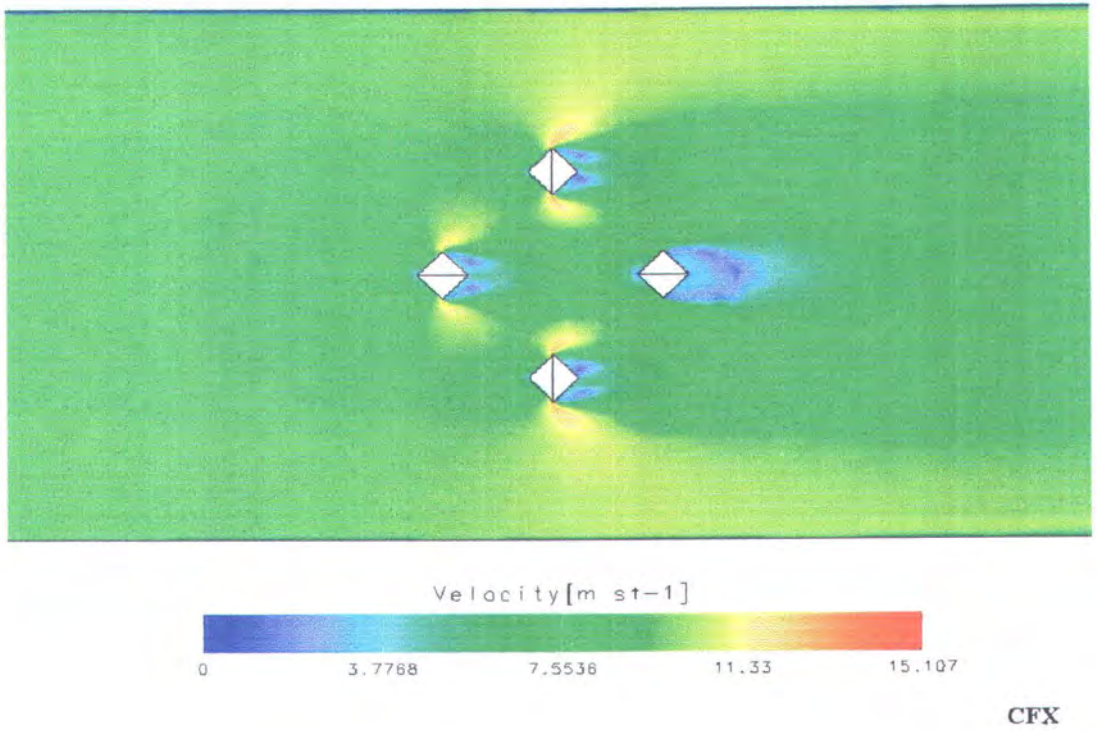
Gambar 5.1.d. Visual Jet Velocity – x Pada KC 5 Arah 0° & 90°



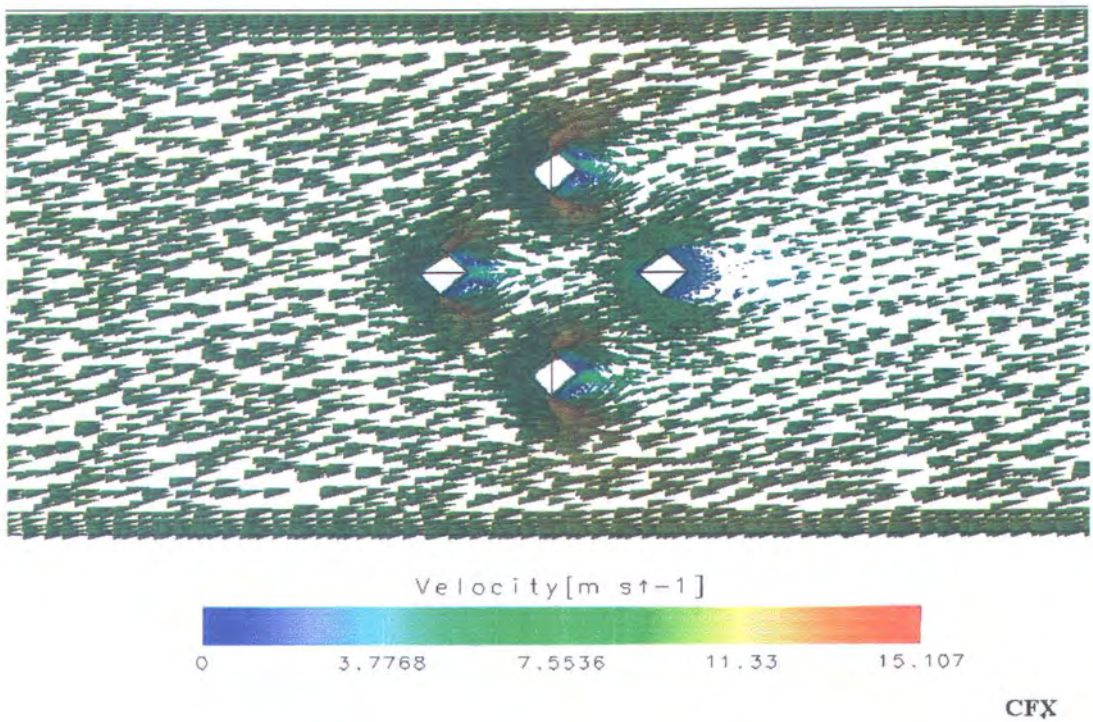
Gambar 5.1.e. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 5 Arah 45°



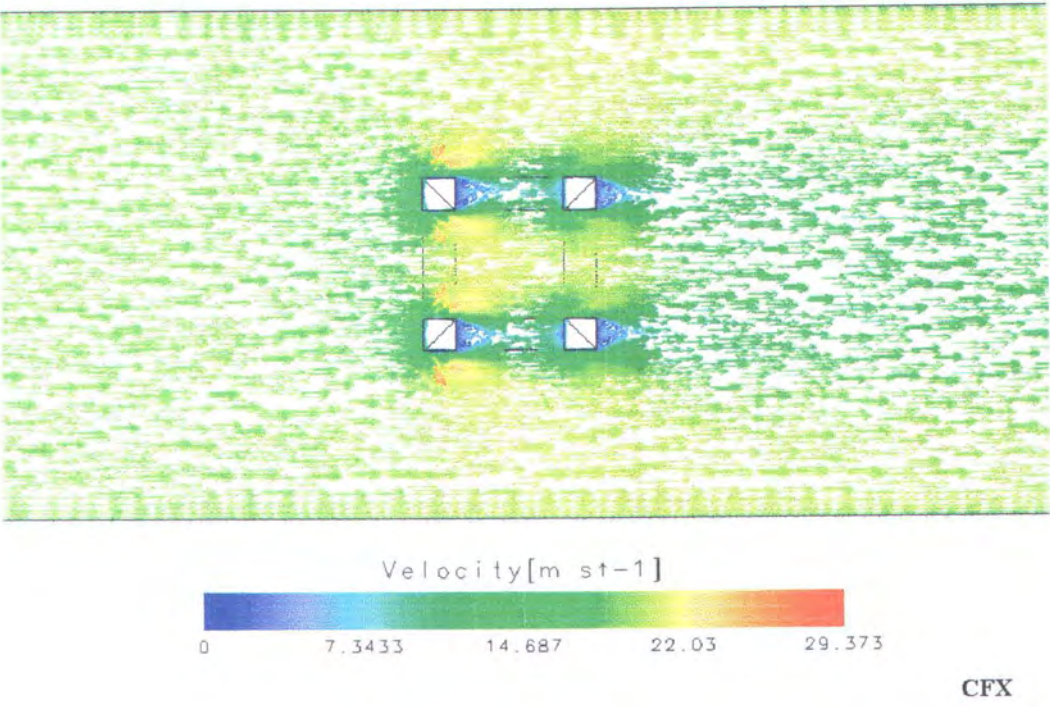
Gambar 5.1.f. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 5 Arah 45°



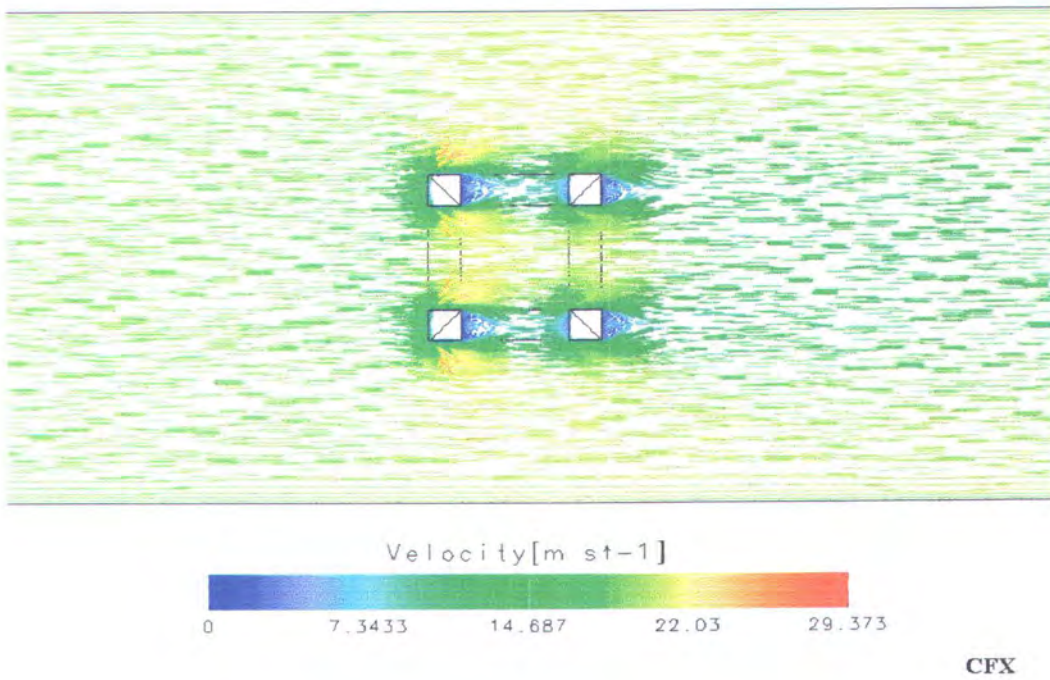
Gambar 5.1.g. Visual Surface Velocity – x Pada KC 5 Arah 45°



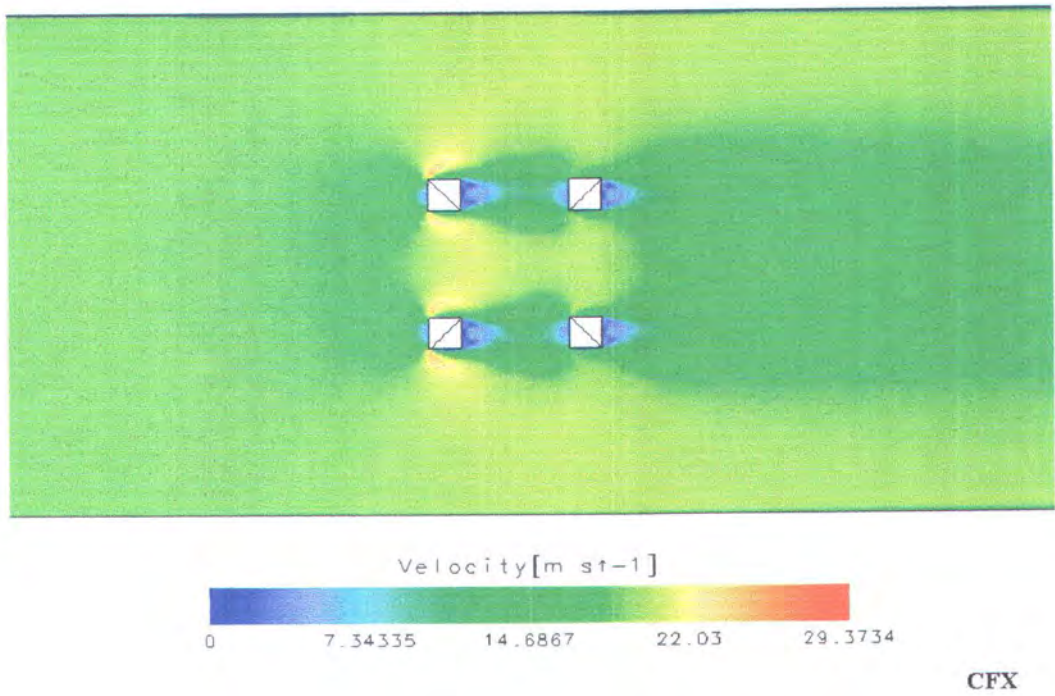
Gambar 5.1.h. Visual Jet Velocity – x Pada KC 5 Arah 45°



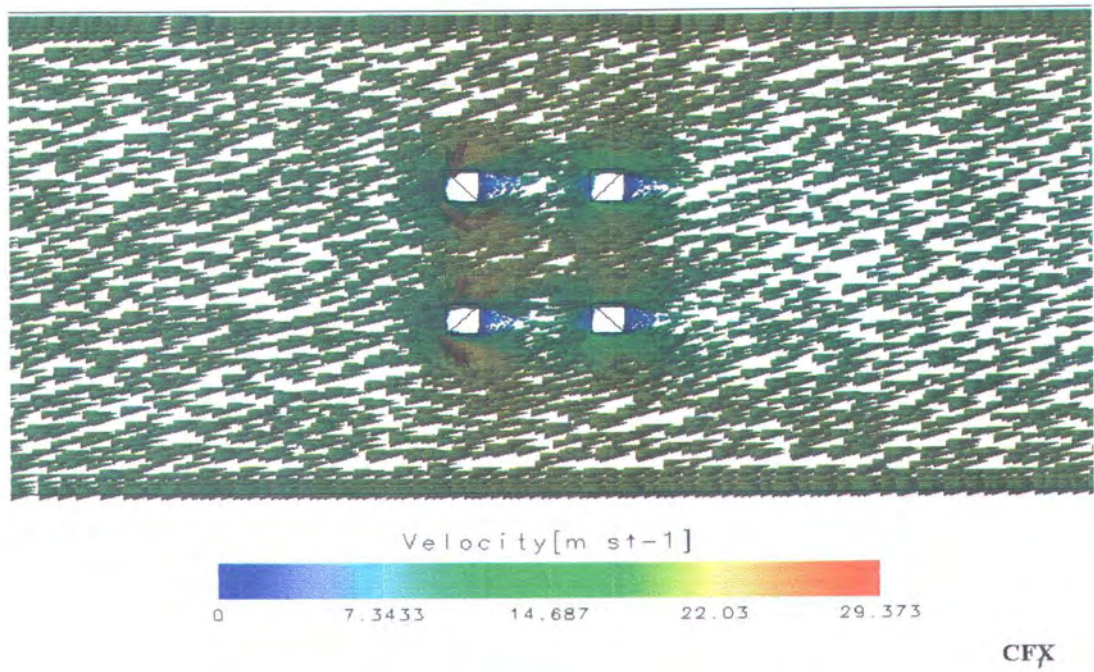
Gambar 5.2.a. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 10 Arah 0° & 90°



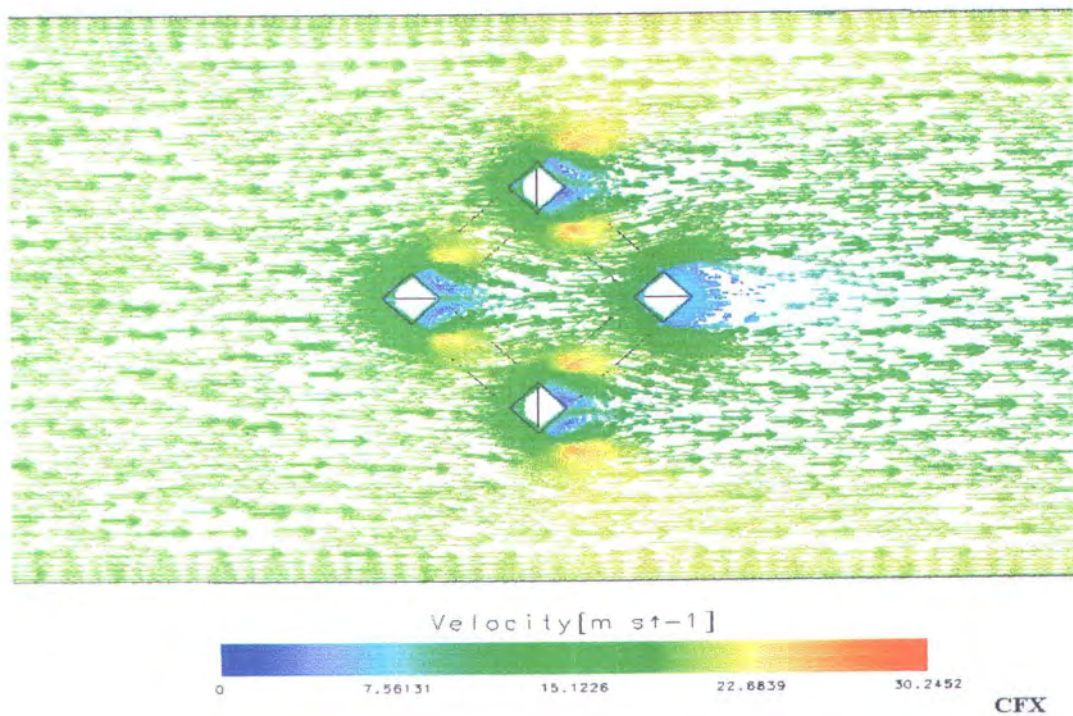
Gambar 5.2.b. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 10 Arah 0° & 90°



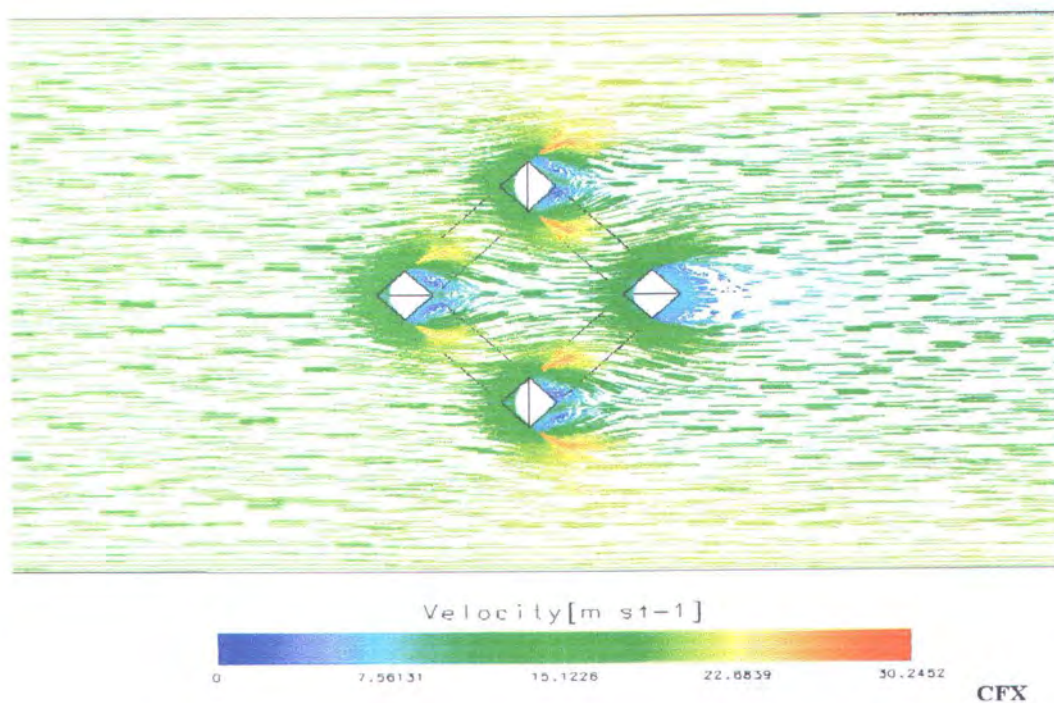
Gambar 5.2.c. Visual Surface Velocity – x Pada KC 10 Arah 0° & 90°



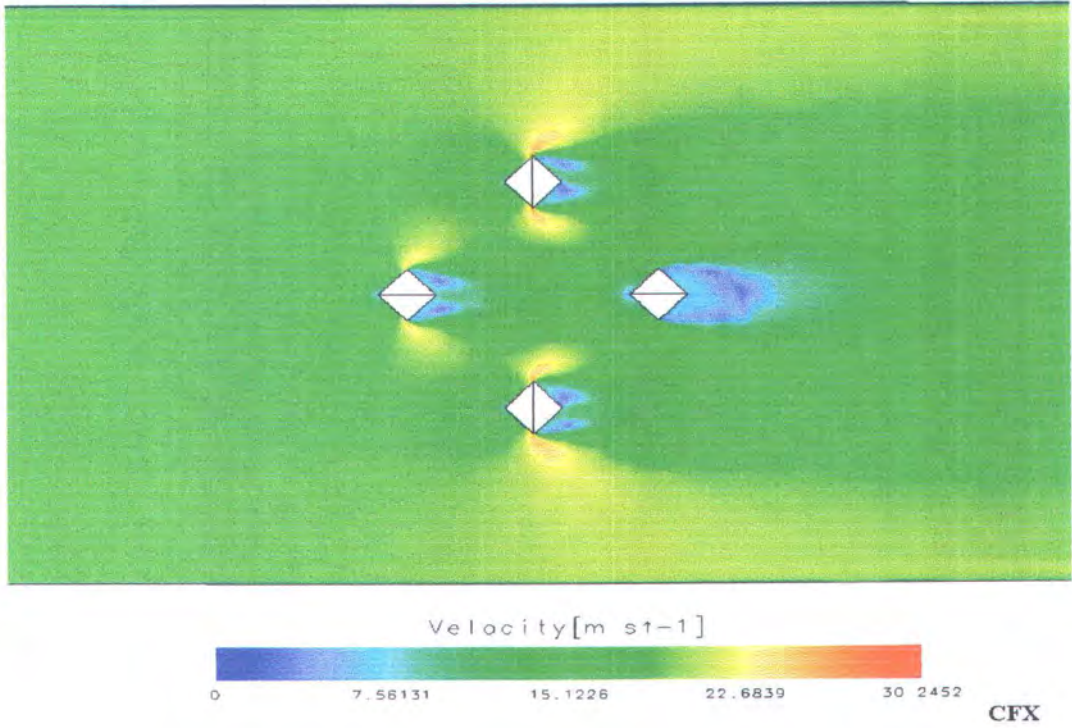
Gambar 5.2.d. Visual Jet Velocity – x Pada KC 10 Arah 0° & 90°



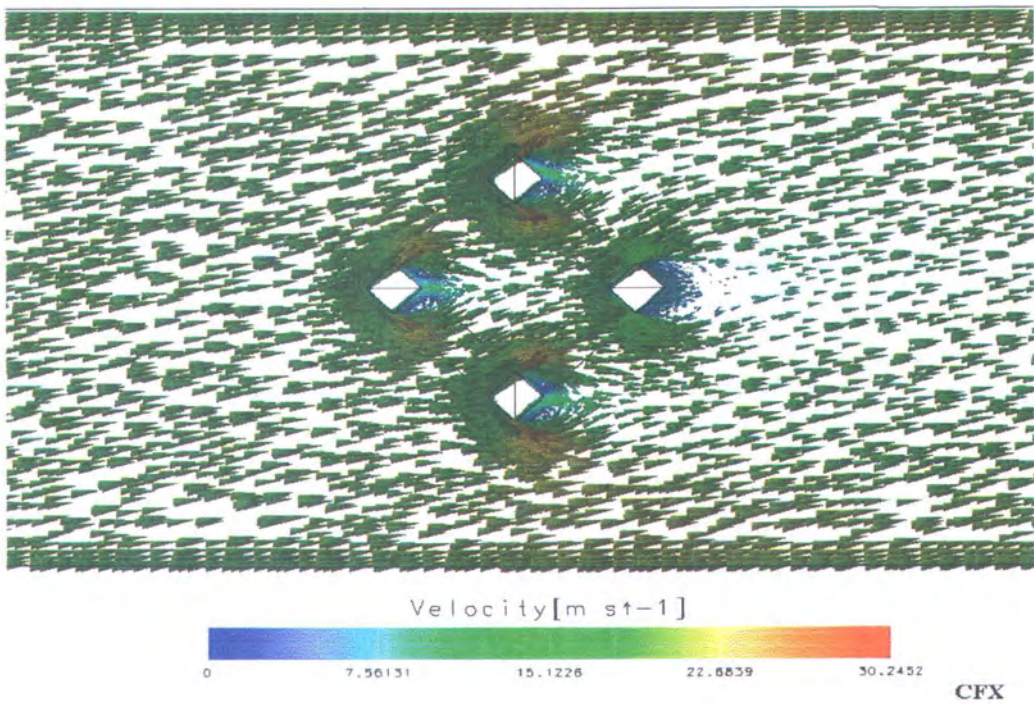
Gambar 5.2.e. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 10 Arah 45°



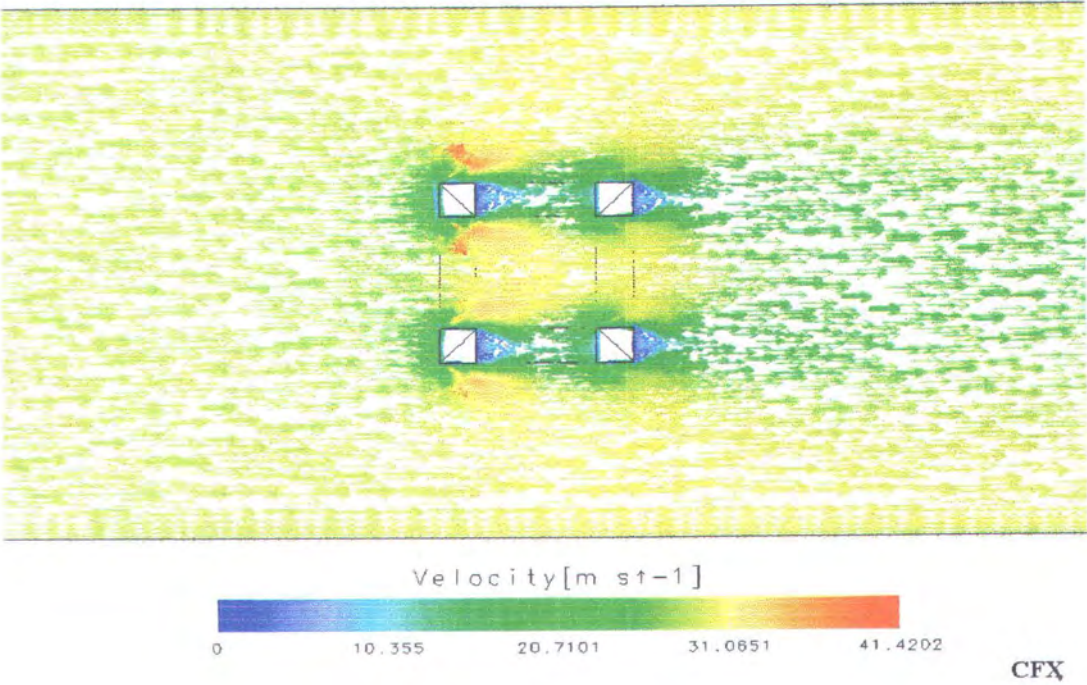
Gambar 5.2.f. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 10 Arah 45°



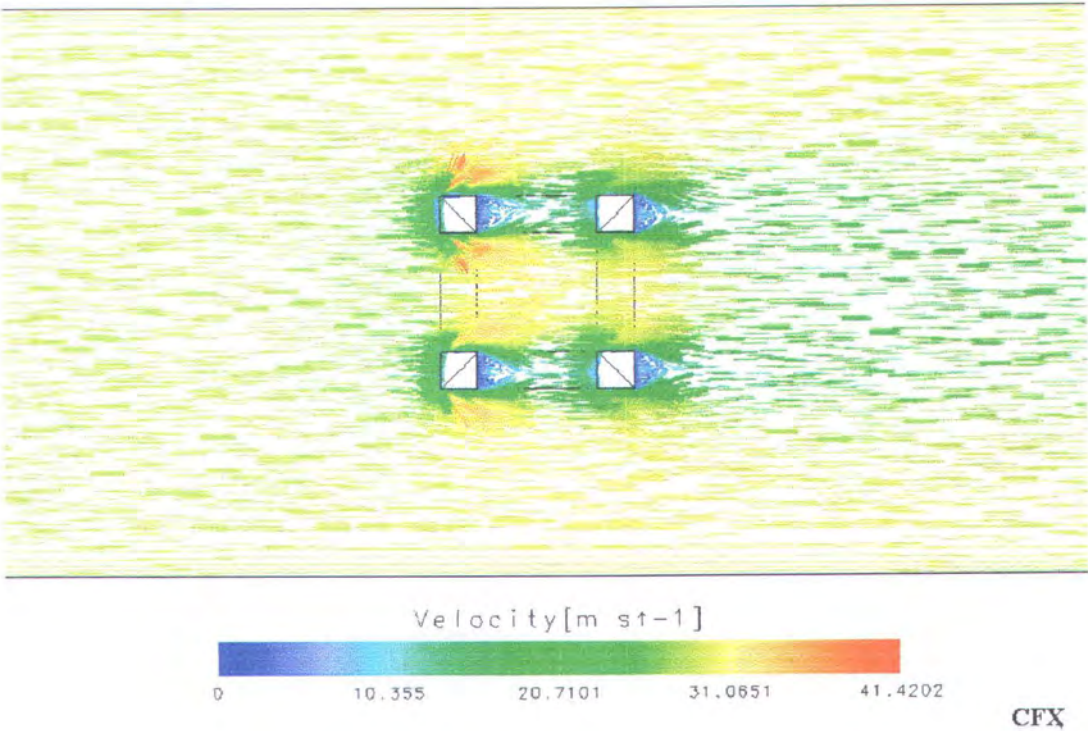
Gambar 5.2.f. Visual Surface Velocity – x Pada KC 10 Arah 45°



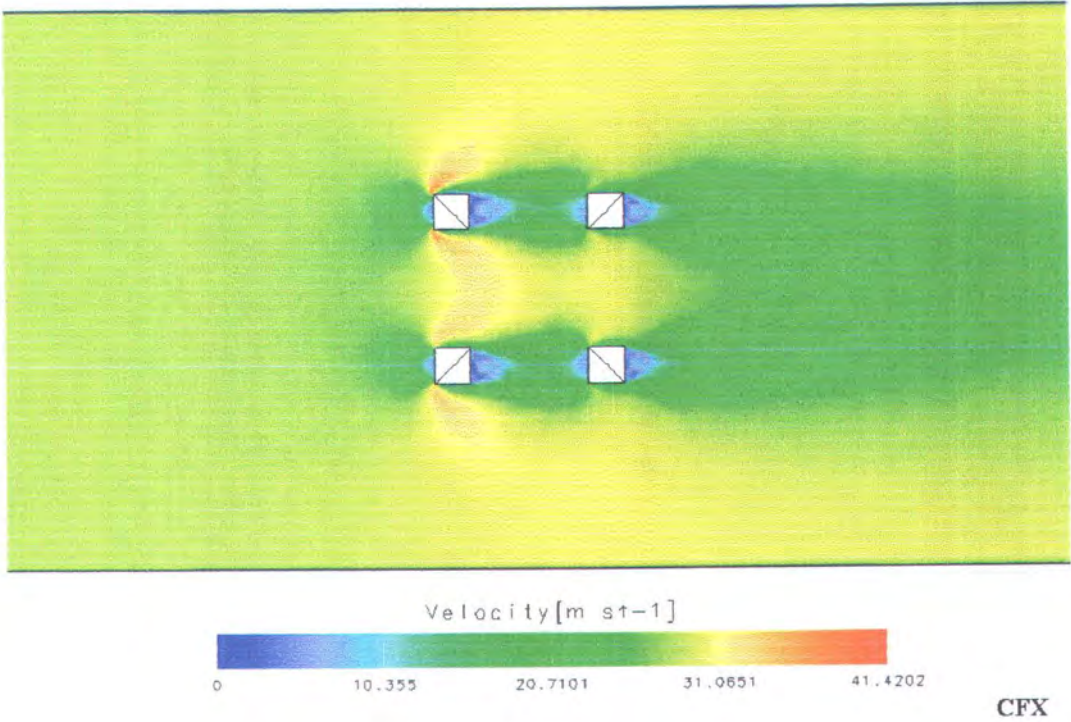
Gambar 5.2.h. Visual Jet Velocity – x Pada KC 10 Arah 45°



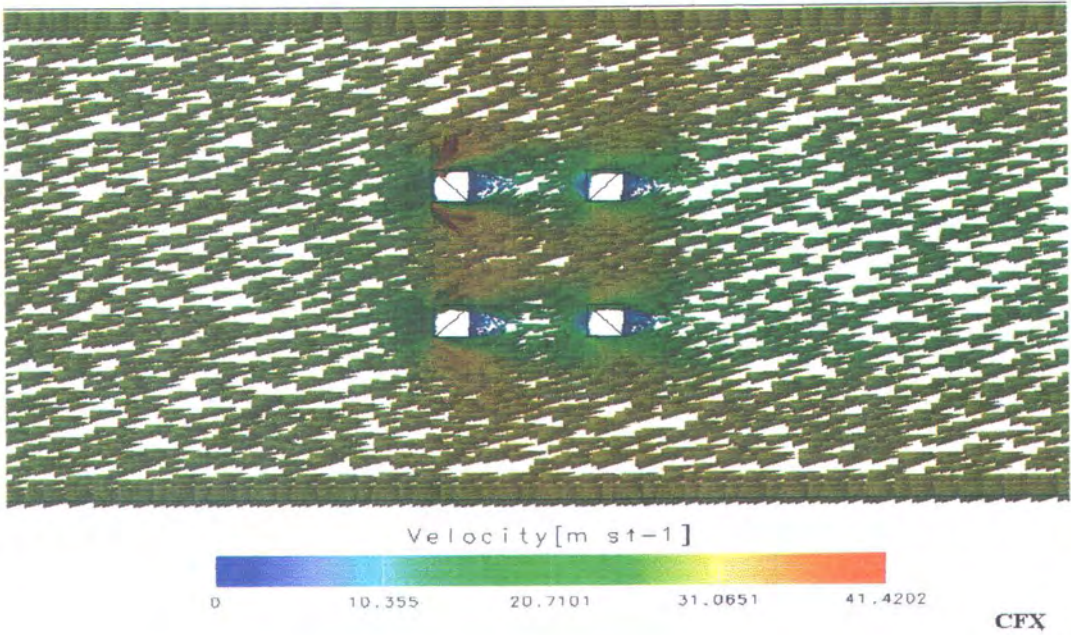
Gambar 5.3.a. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 15 Arah 0° & 90°



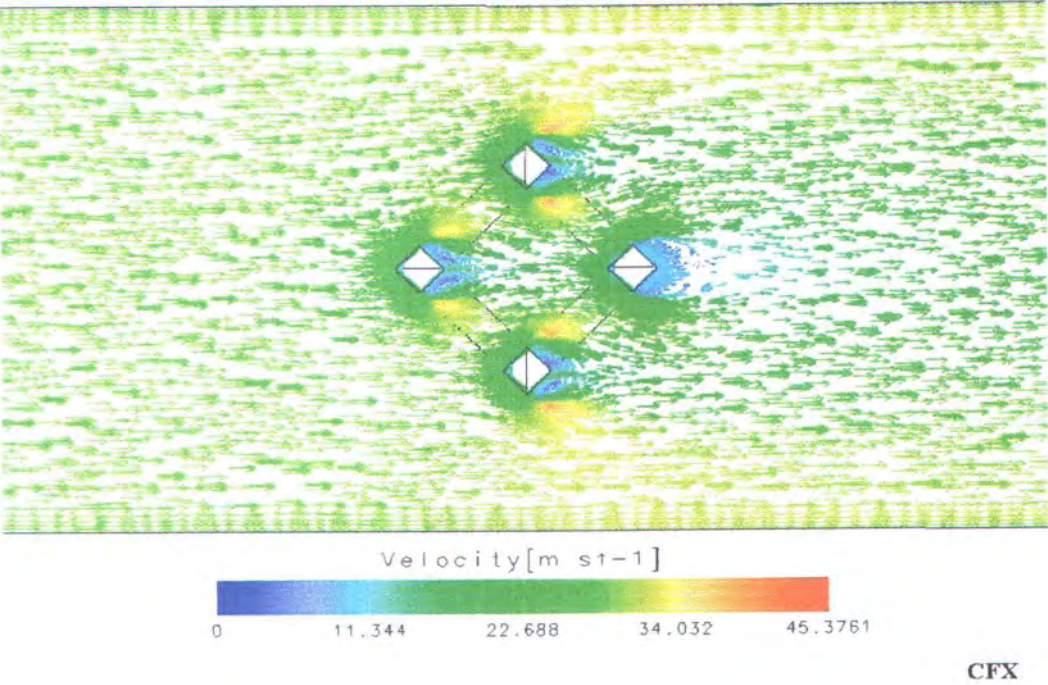
Gambar 5.3.b. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 15 Arah 0° & 90°



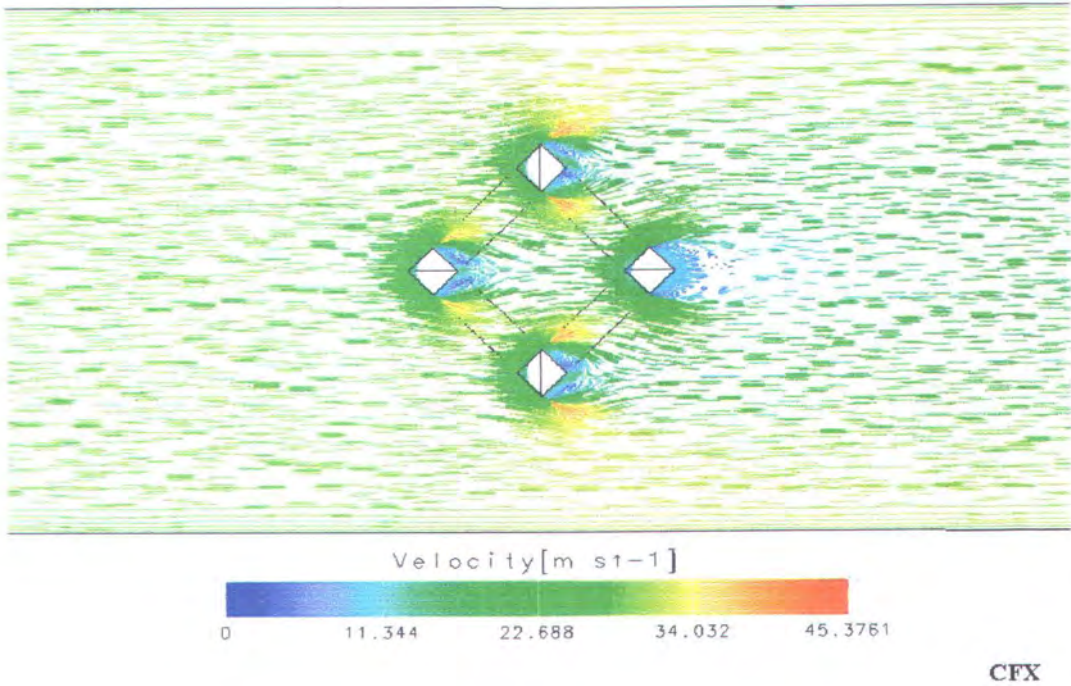
Gambar 5.3.c. Visual Surface Velocity – x Pada KC 15 Arah 0° & 90°



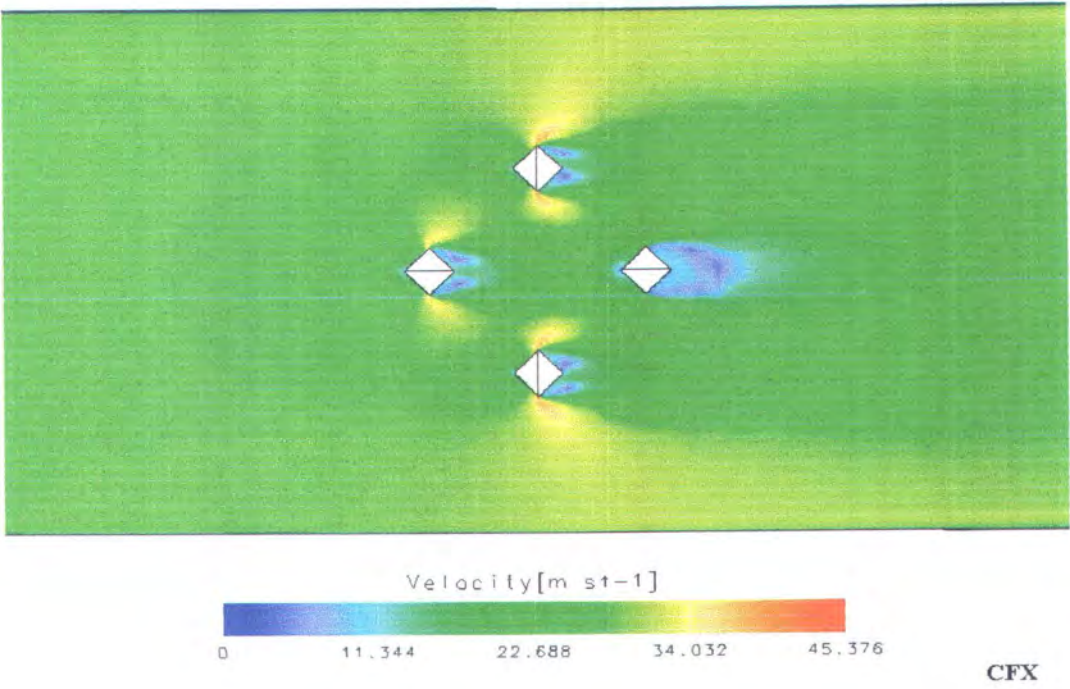
Gambar 5.3.d. Visual Jet Velocity – x Pada KC 15 Arah 0° & 90°



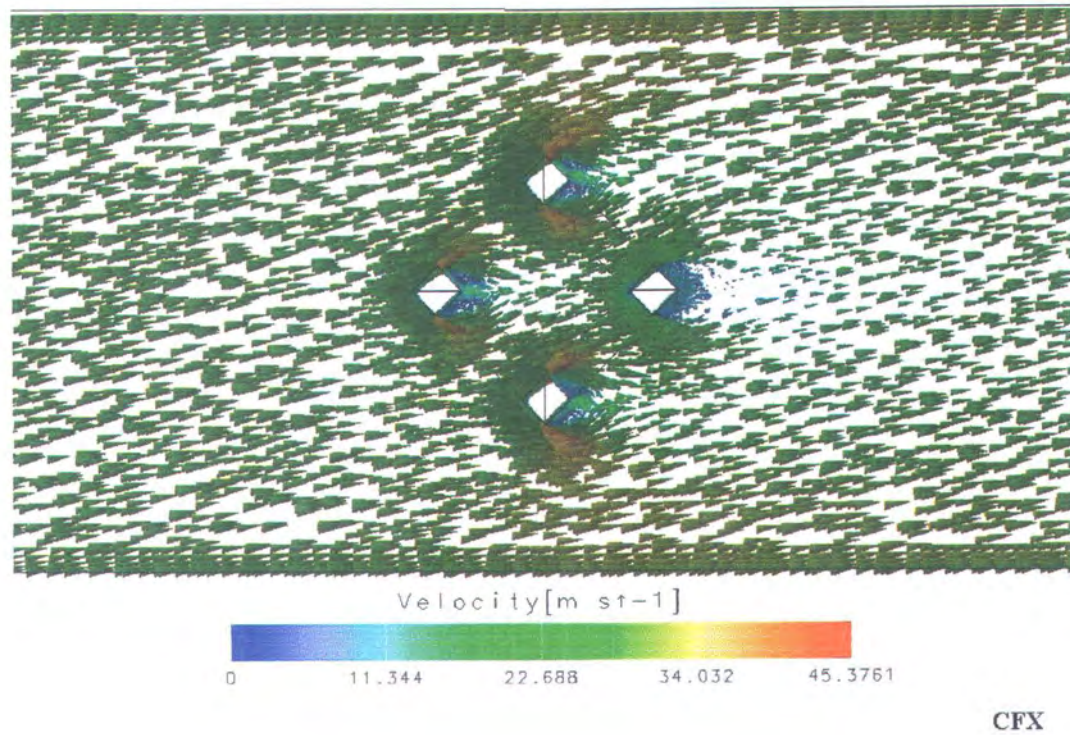
Gambar 5.3.e. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 15 Arah 45°



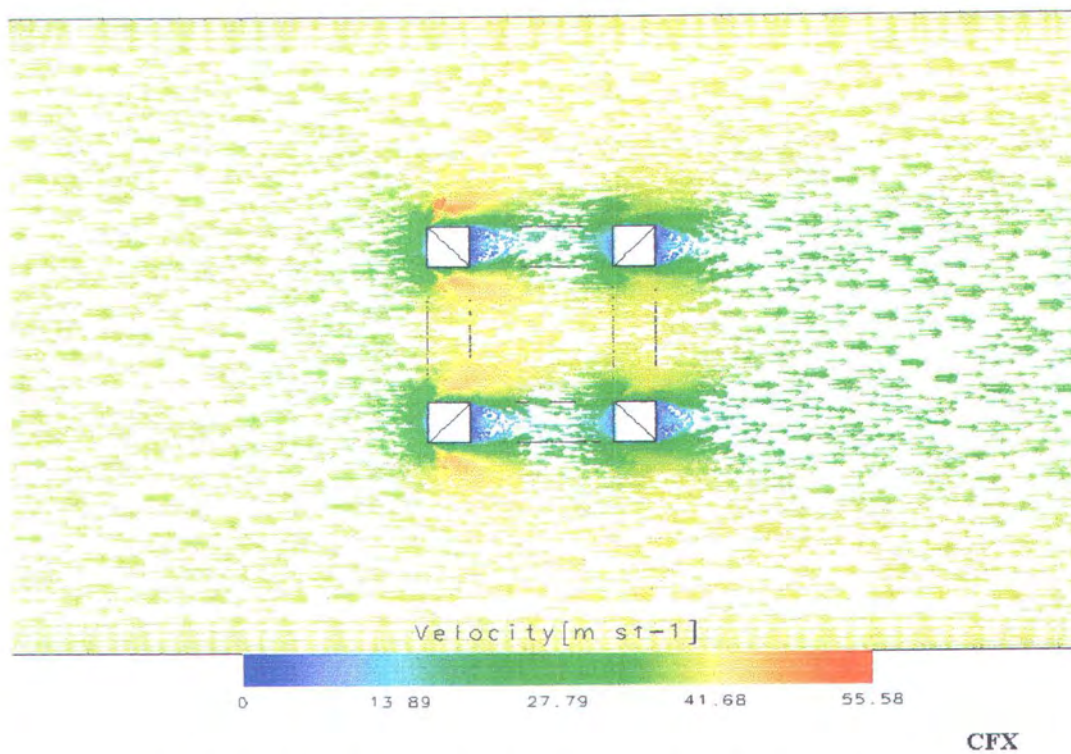
Gambar 5.3.f. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 15 Arah 45°



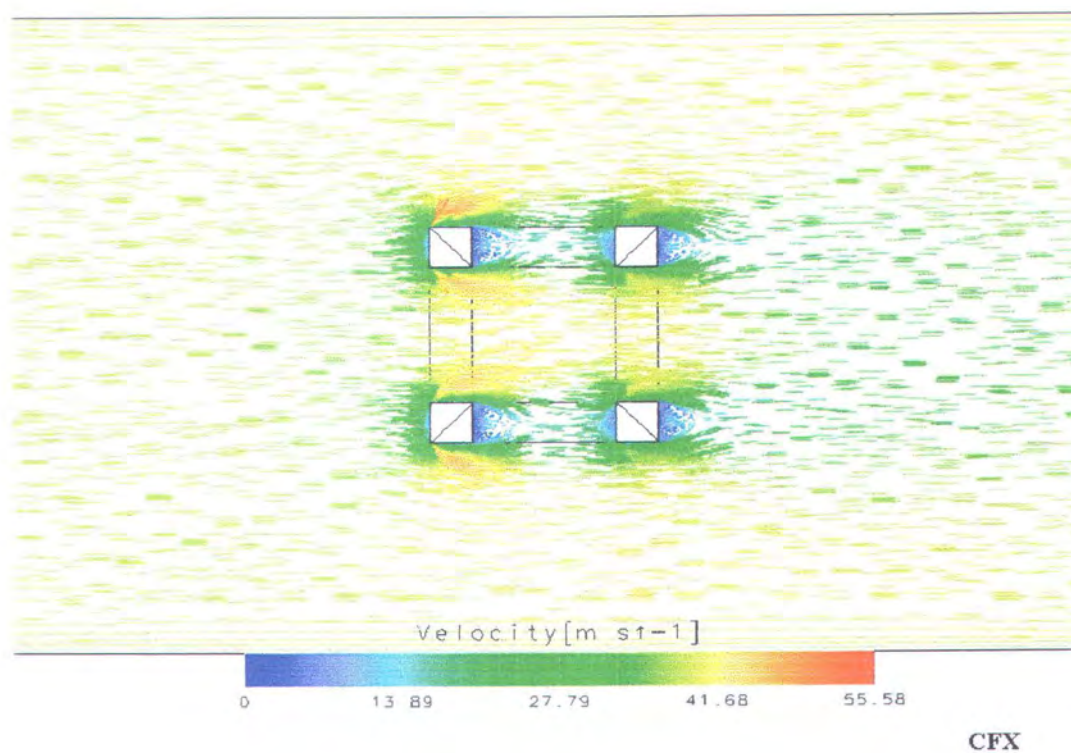
Gambar 5.3.g. Visual Surface Velocity – x Pada KC 15 Arah 45°



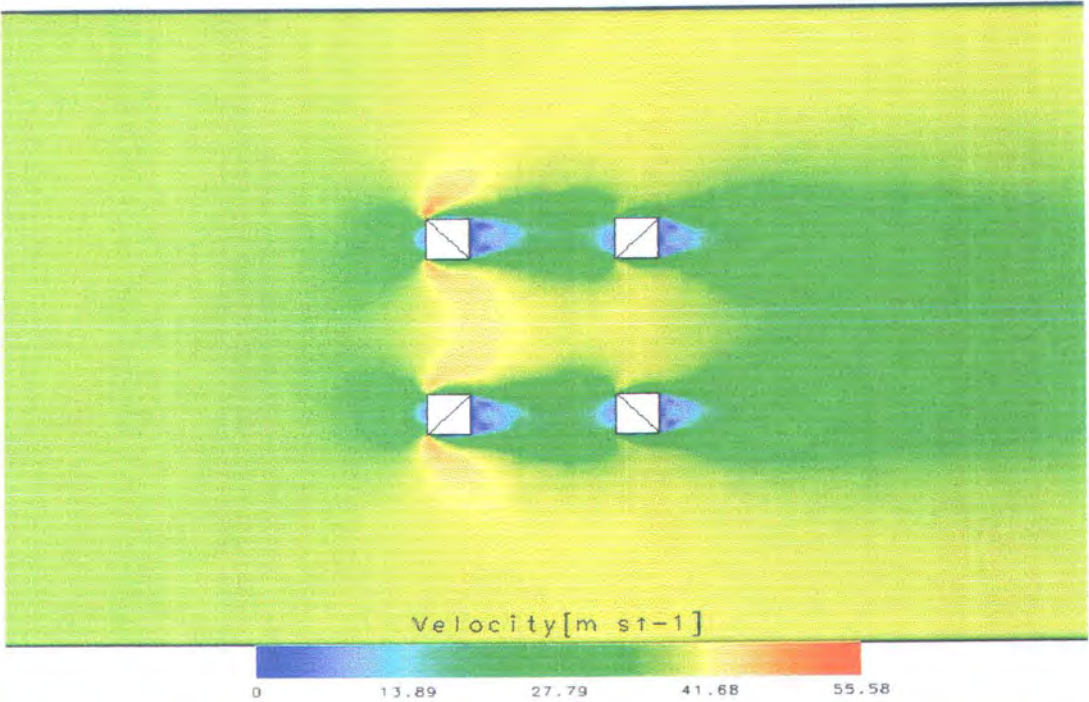
Gambar 5.3.g. Visual Jet Velocity – x Pada KC 15 Arah 45°



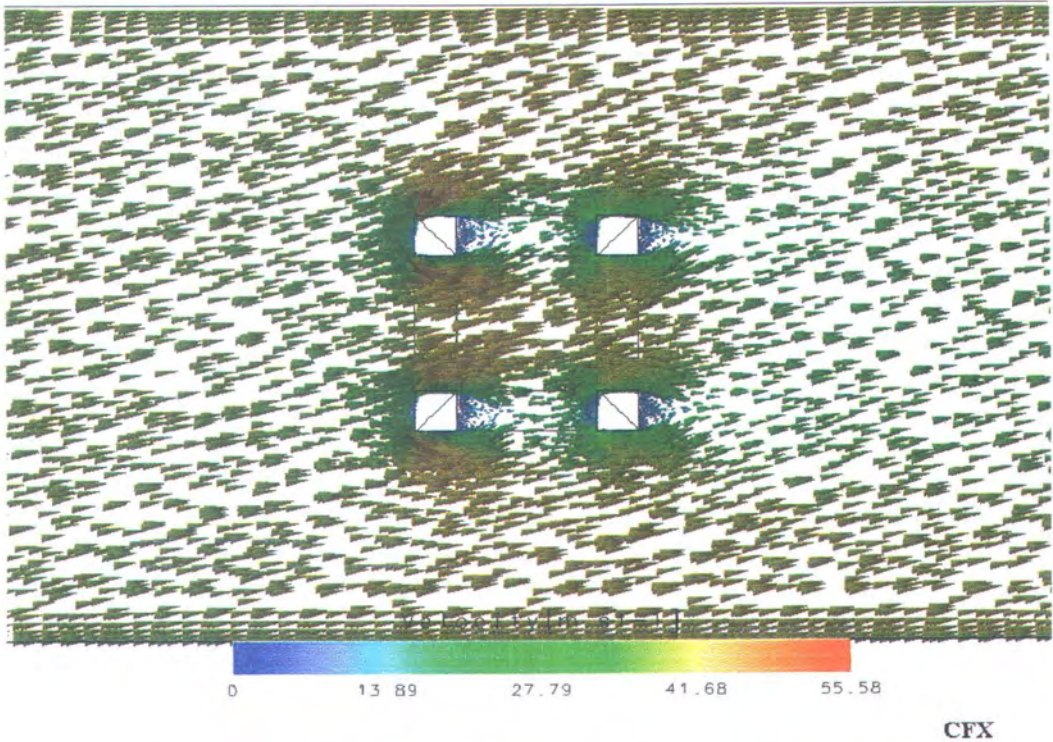
Gambar 5.4.a. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 20 Arah 0° & 90°



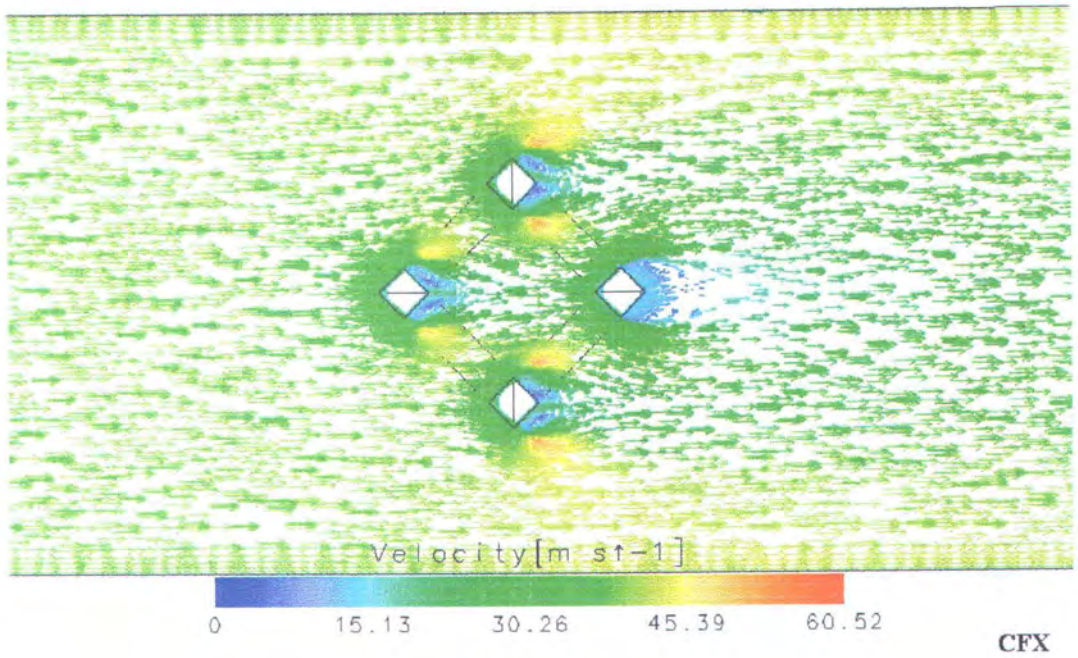
Gambar 5.4.b. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 20 Arah 0° & 90°



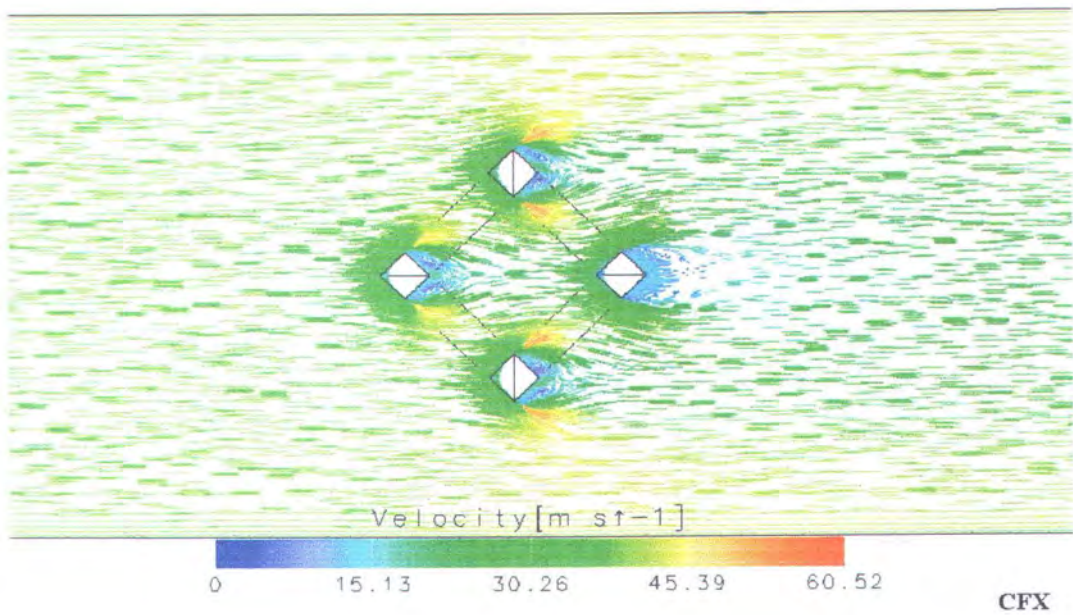
Gambar 5.4.c. Visual Surface Velocity – x Pada KC 20 Arah 0° & 90°



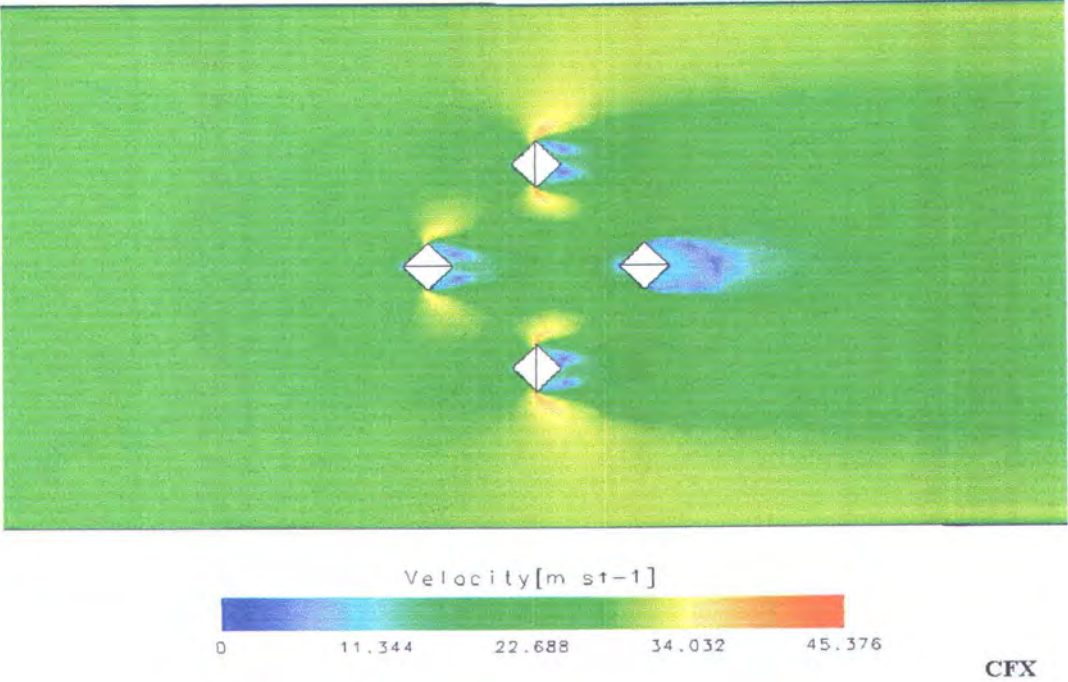
Gambar 5.4.d. Visual Jet Velocity – x Pada KC 20 Arah 0° & 90°



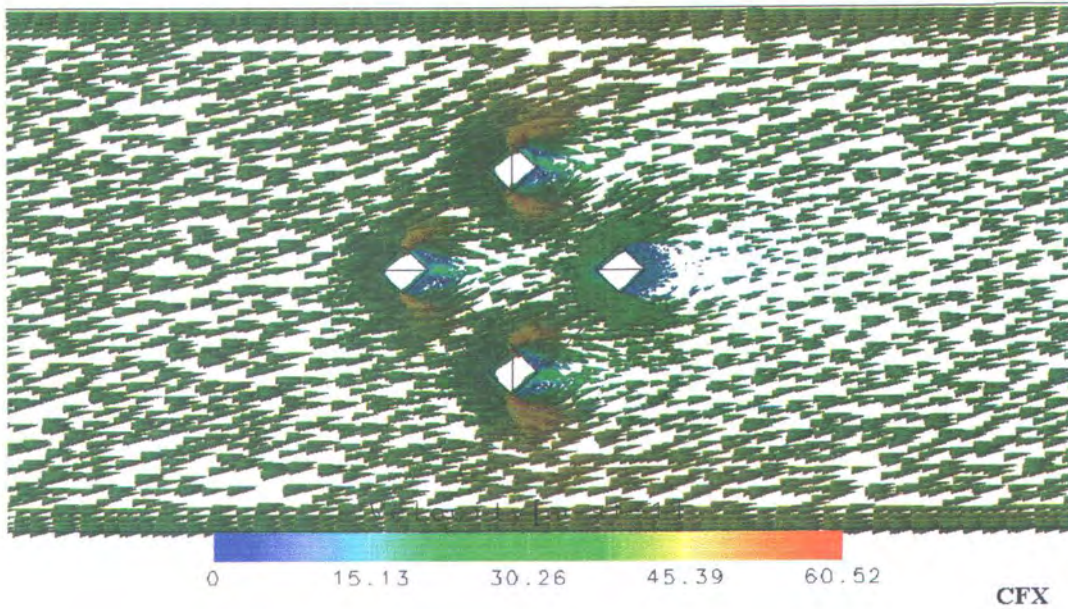
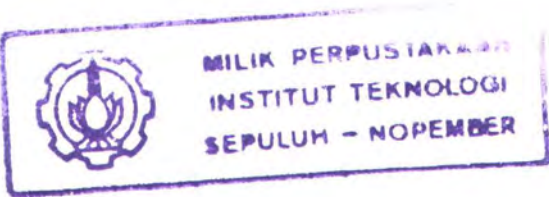
Gambar 5.4.e. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 20 Arah 45°



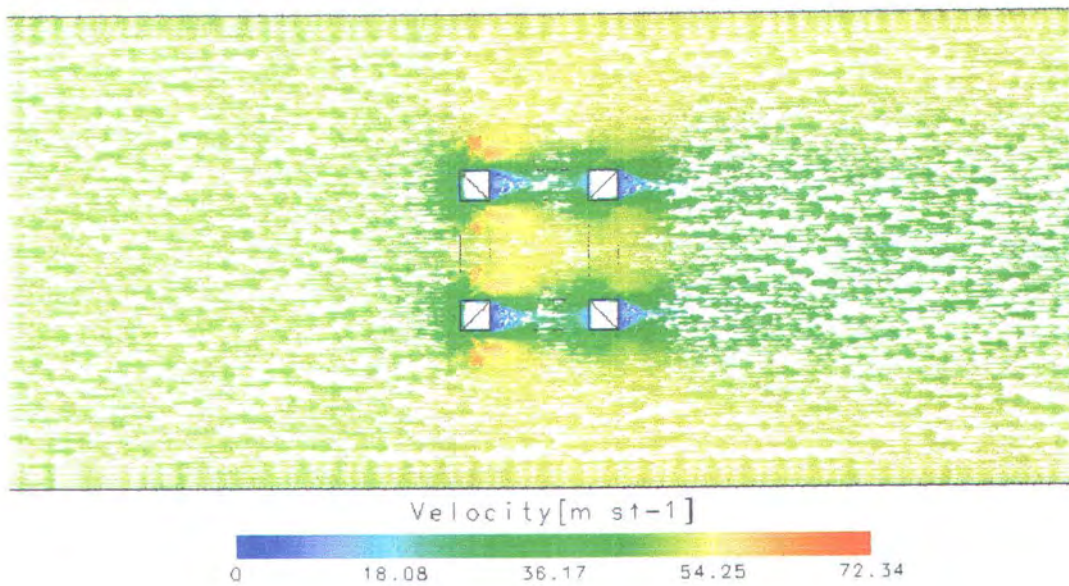
Gambar 5.4.f. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 20 Arah 45°



Gambar 5.4.g. Visual Surface Velocity – x Pada KC 20 Arah 45°

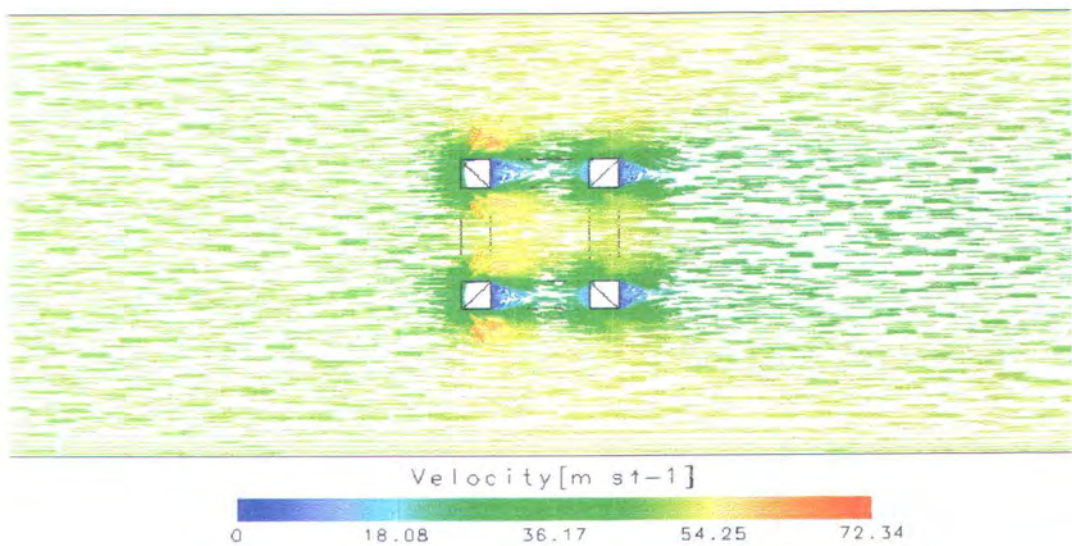


Gambar 5.4.h. Visual Jet Velocity – x Pada KC 20 Arah 45°



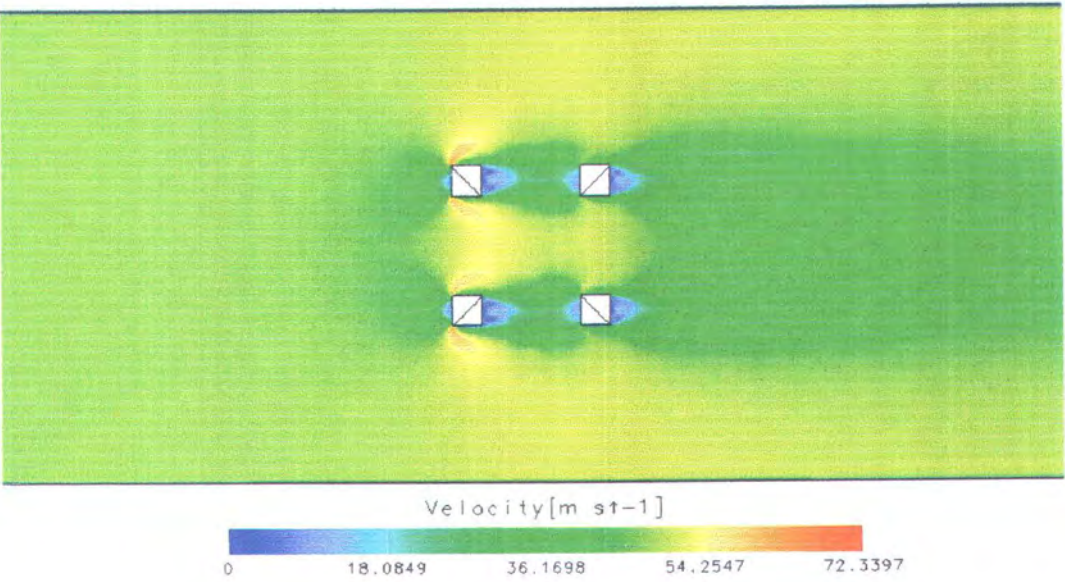
CFX

Gambar 5.5.a. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 25 Arah 0° & 90°



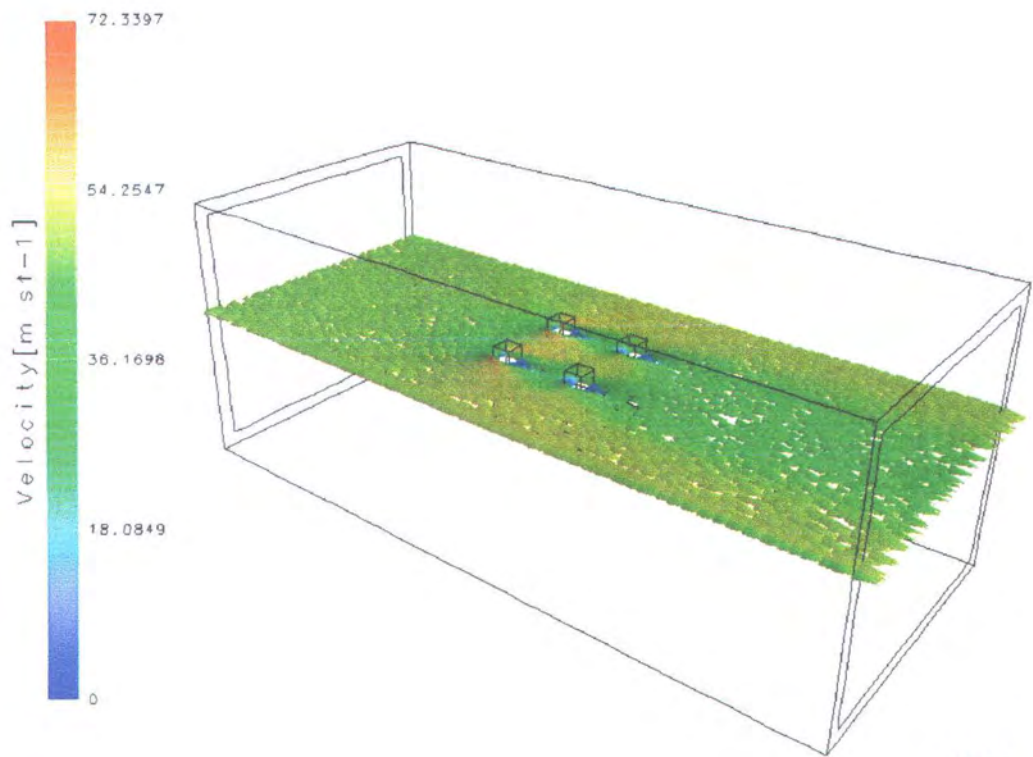
CFX

Gambar 5.5.b. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 25 Arah 0° & 90°



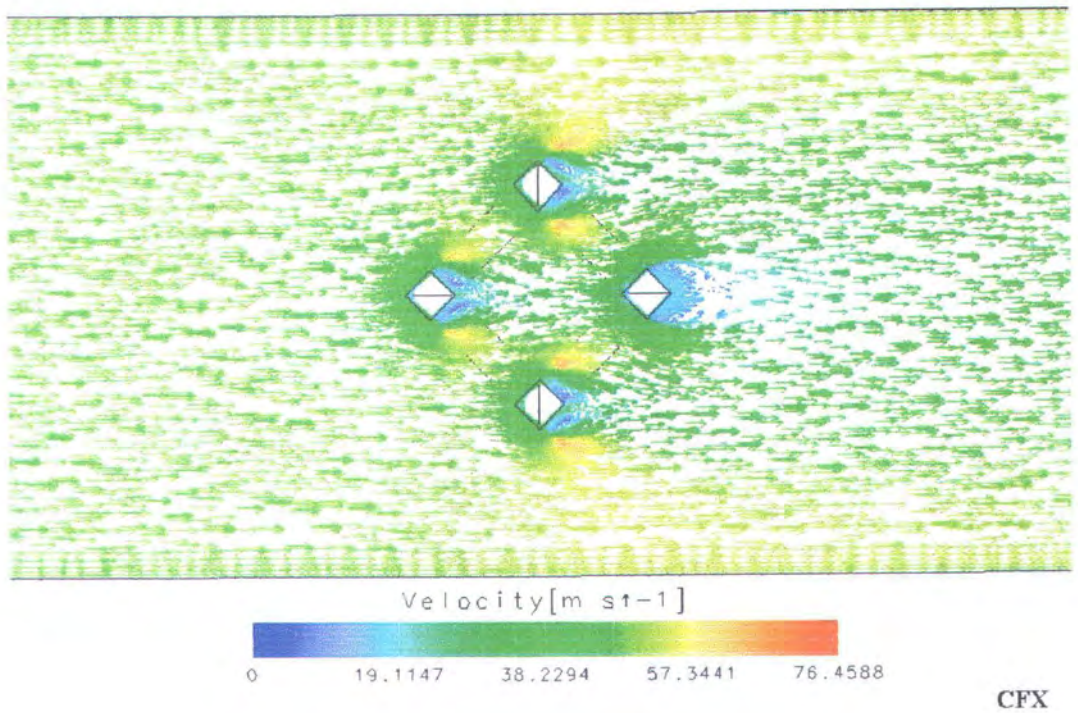
CFX

Gambar 5.5.b. Visual Surface Velocity – x Pada KC 25 Arah 0° & 90°

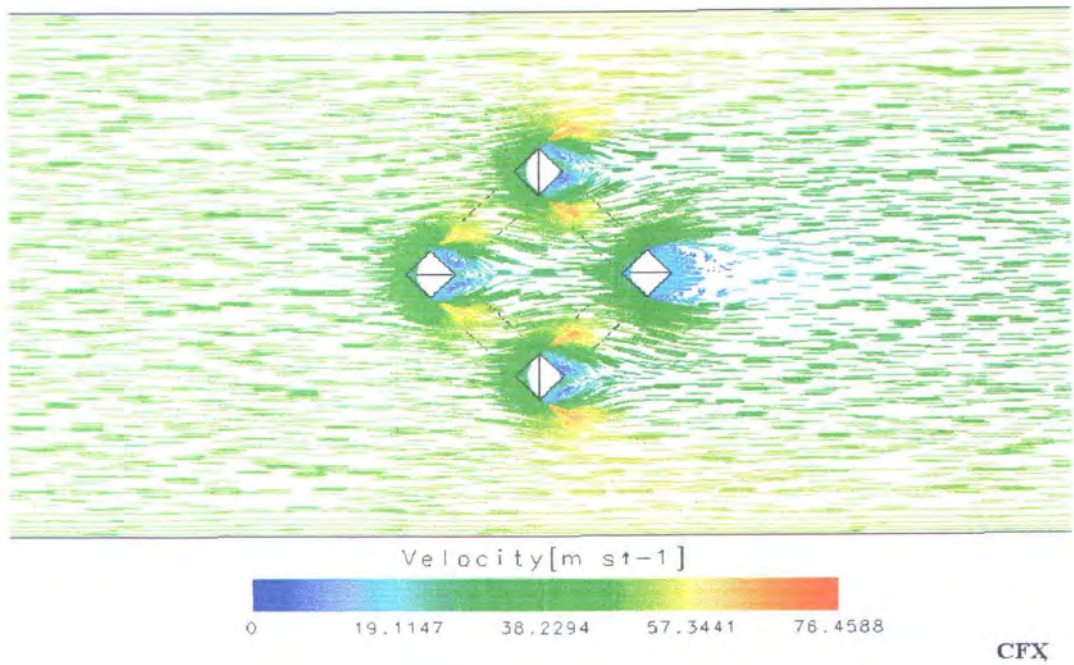


CFX

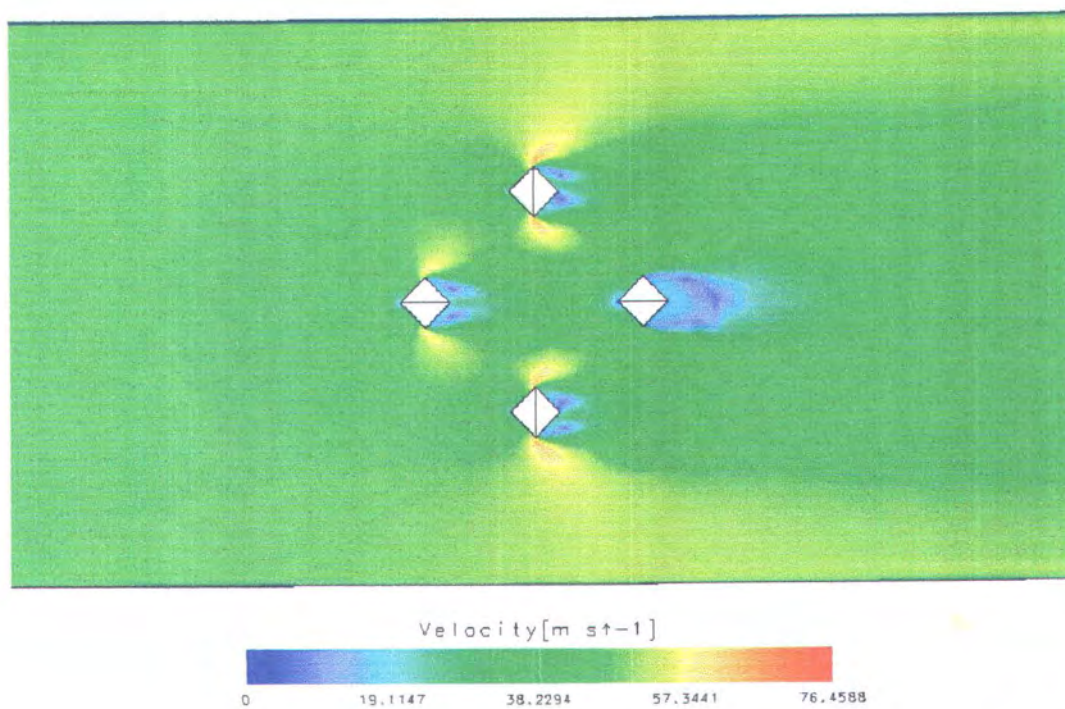
Gambar 5.5.d. Visual Jet Velocity – x Pada KC 25 Arah 0° & 90°



Gambar 5.5.e. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 25 Arah 45°

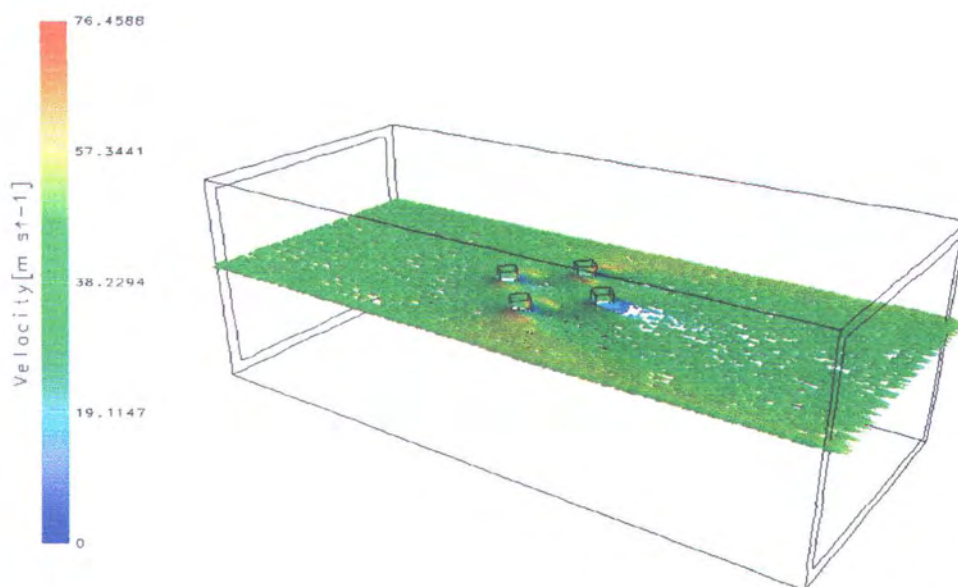


Gambar 5.5.f. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 25 Arah 45°



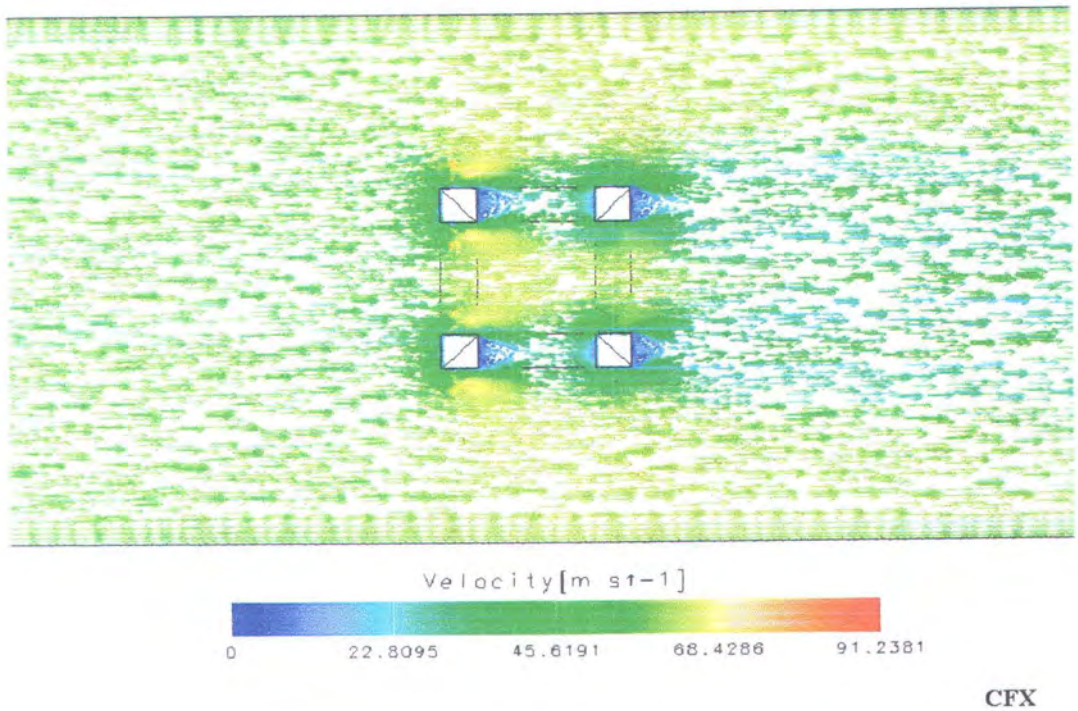
CFX

Gambar 5.5.g. Visual Surface Velocity – x Pada KC 25 Arah 45°

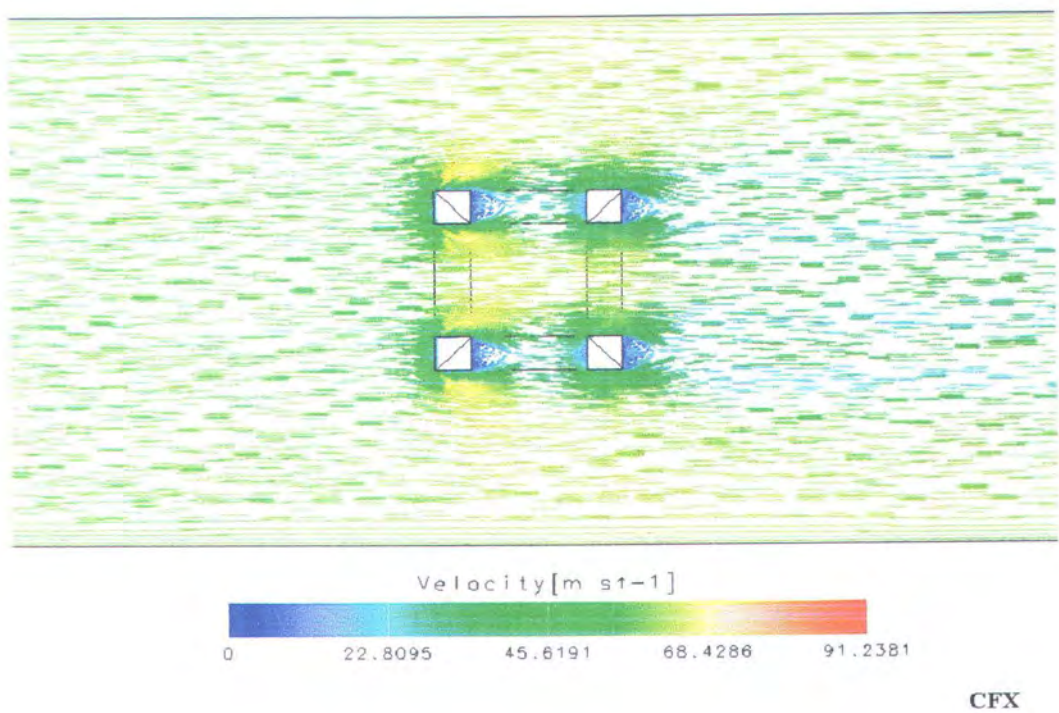


CFX

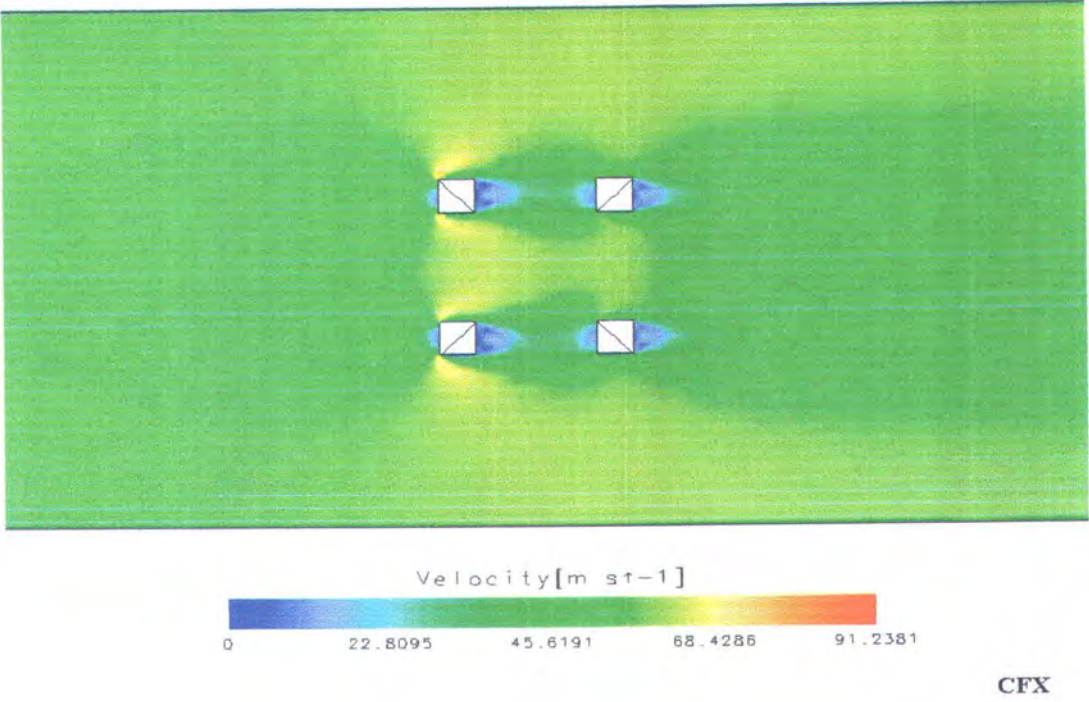
Gambar 5.5.h. Visual Jet Velocity – x Pada KC 25 Arah 45°



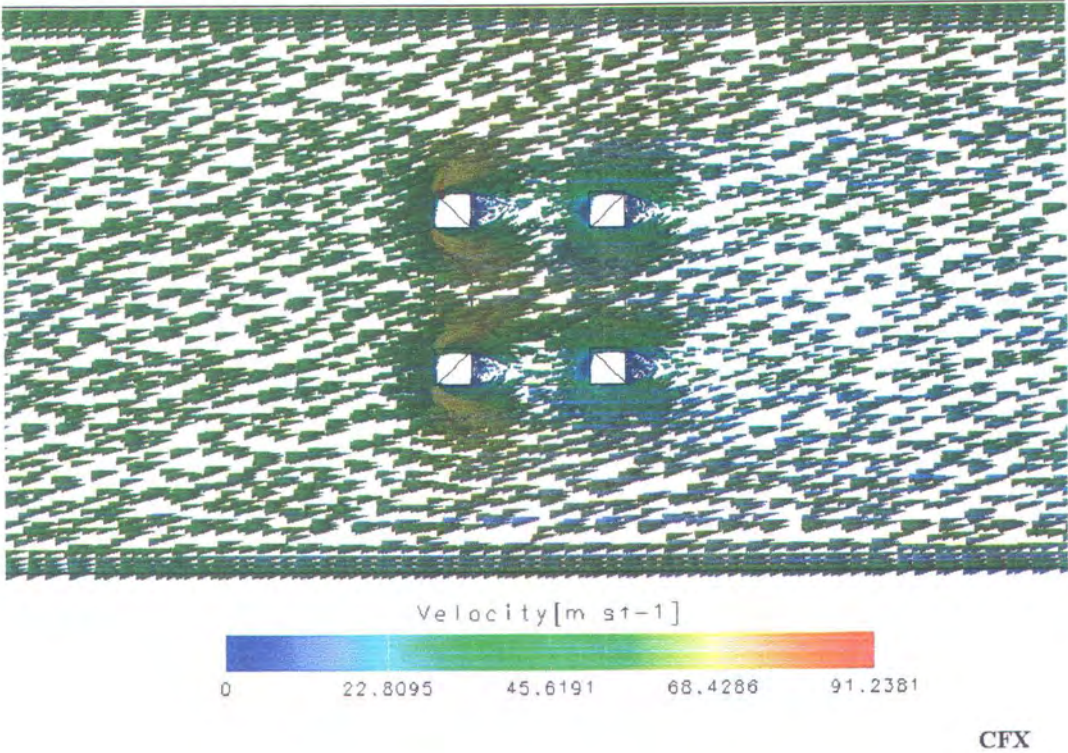
Gambar 5.6.a. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 30 Arah 0° & 90°



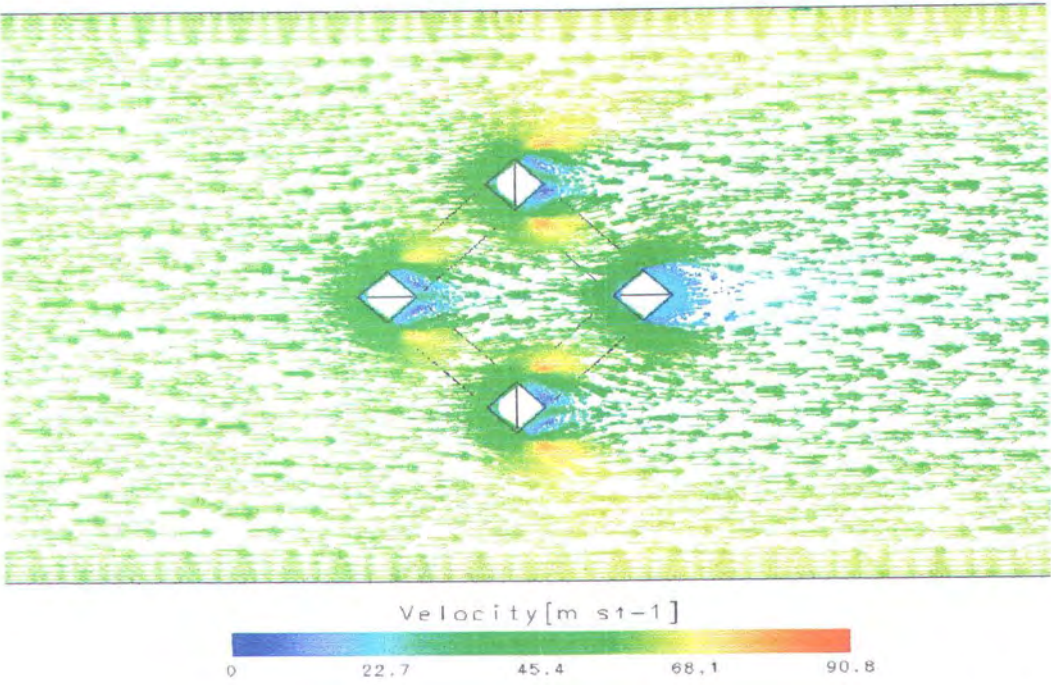
Gambar 5.6.b. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 30 Arah 0° & 90°



Gambar 5.6.c. Visual Surface Velocity – x Pada KC 30 Arah 0° & 90°

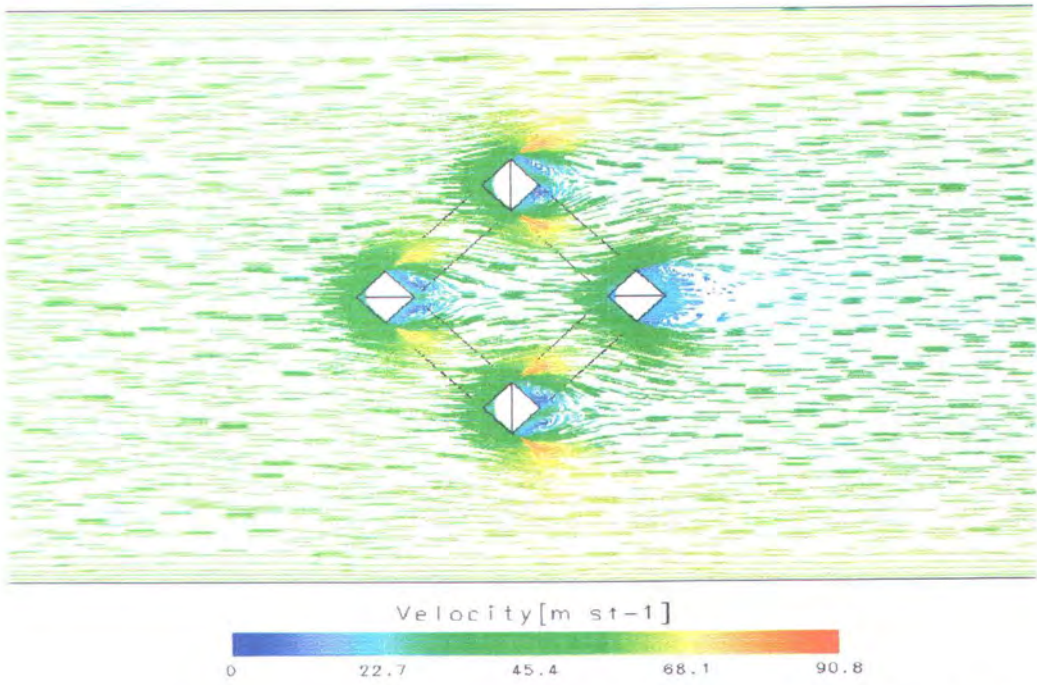


Gambar 5.6.d. Visual Jet Velocity – x Pada KC 30 Arah 0° & 90°



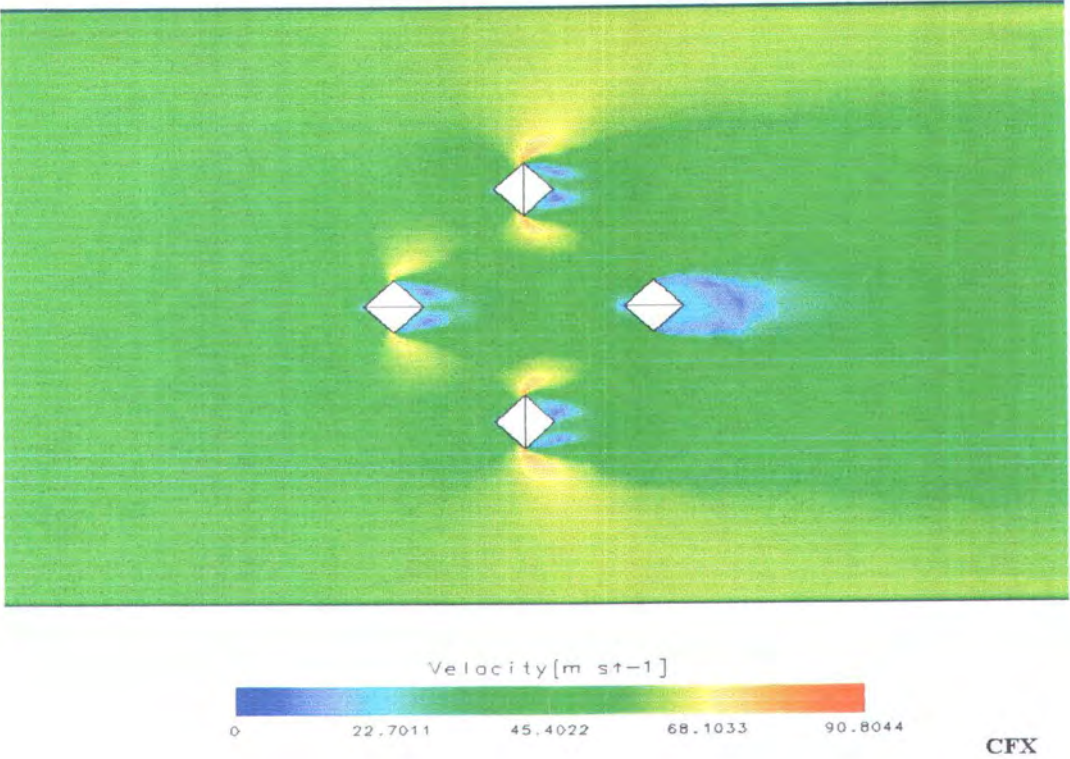
CFX

Gambar 5.6.e. Visual Vektor Velocity – x Pada KC 30 Arah 45°

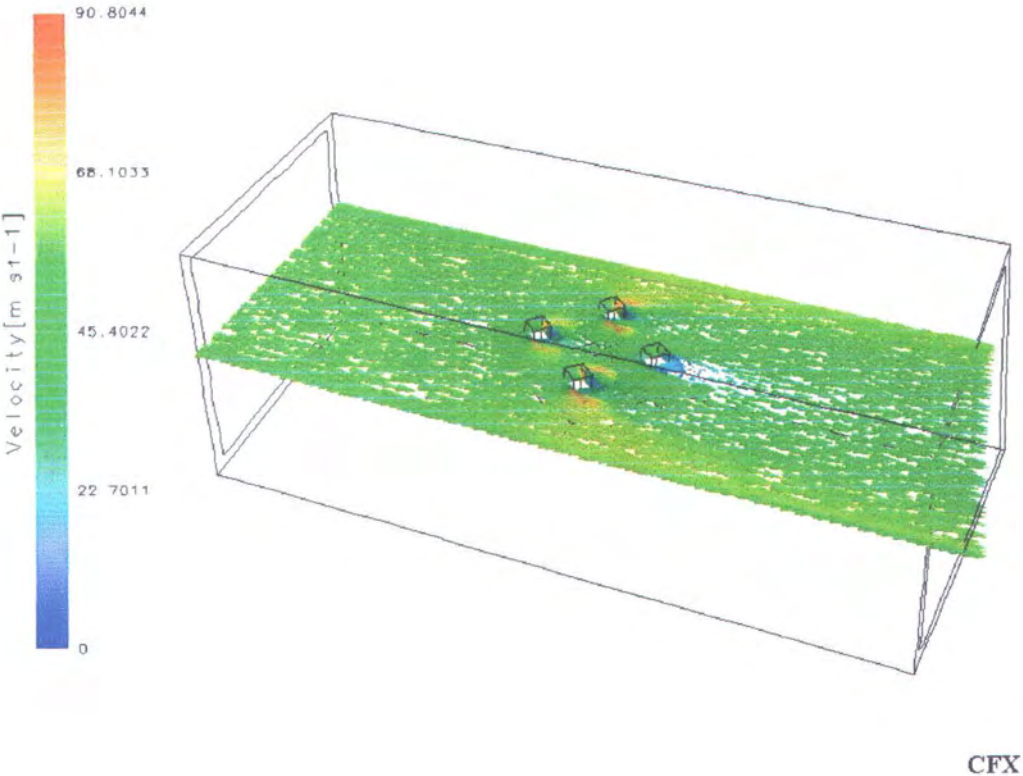


CFX

Gambar 5.6.f. Visual Streamline Velocity – x Pada KC 30 Arah 45°

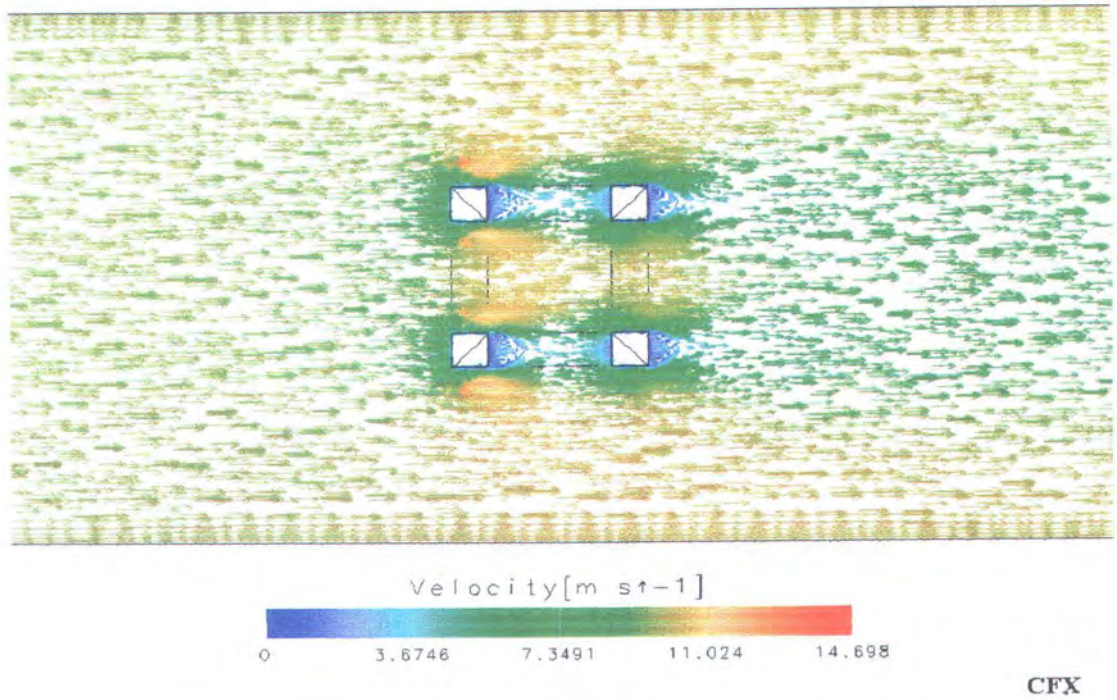


Gambar 5.6.g. Visual Surface Velocity – x Pada KC 30 Arah 45°

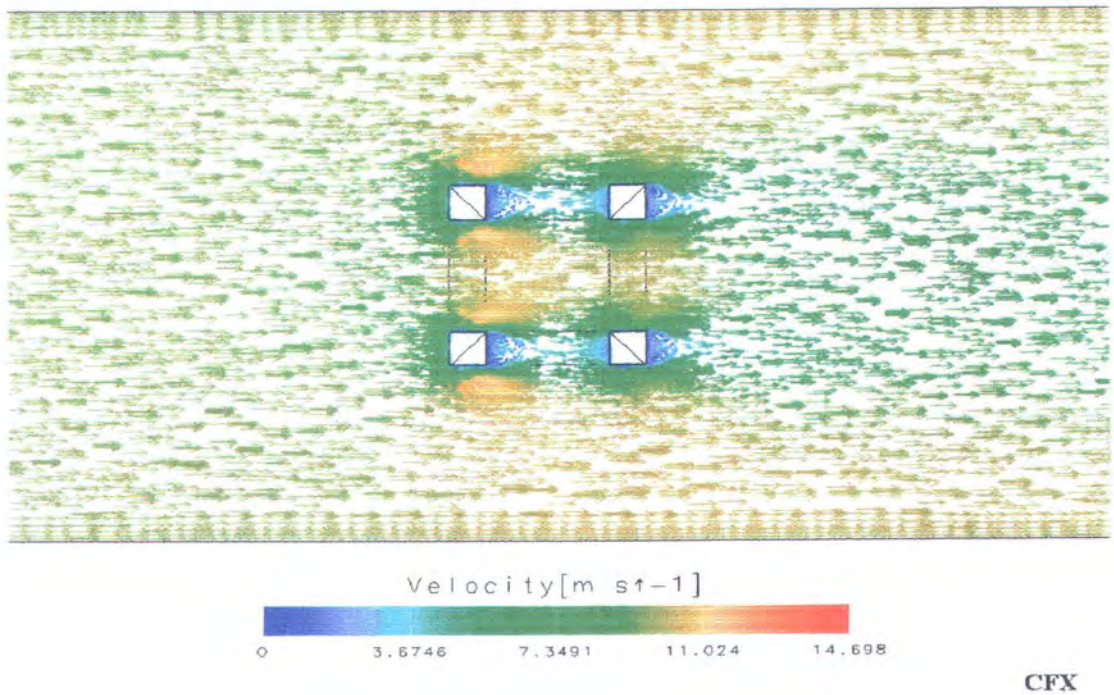


Gambar 5.6.h. Visual Jet Velocity – x Pada KC 30 Arah 45°

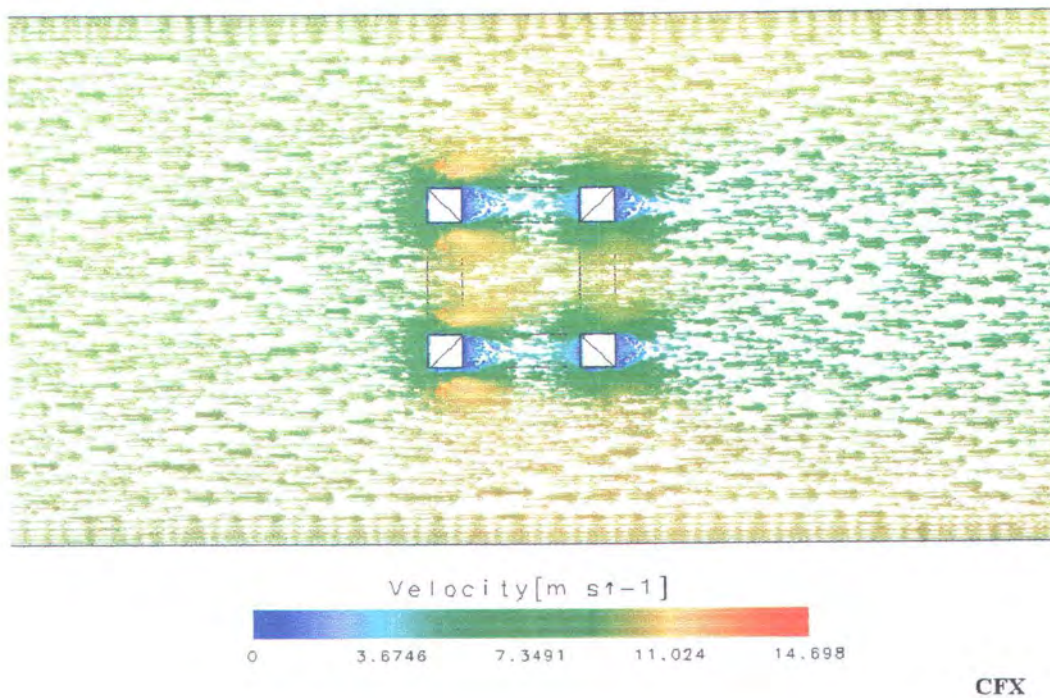
LAMPIRAN 6
CONTOH VISUALISASI KECEPATAN TIAP TIMESTEP



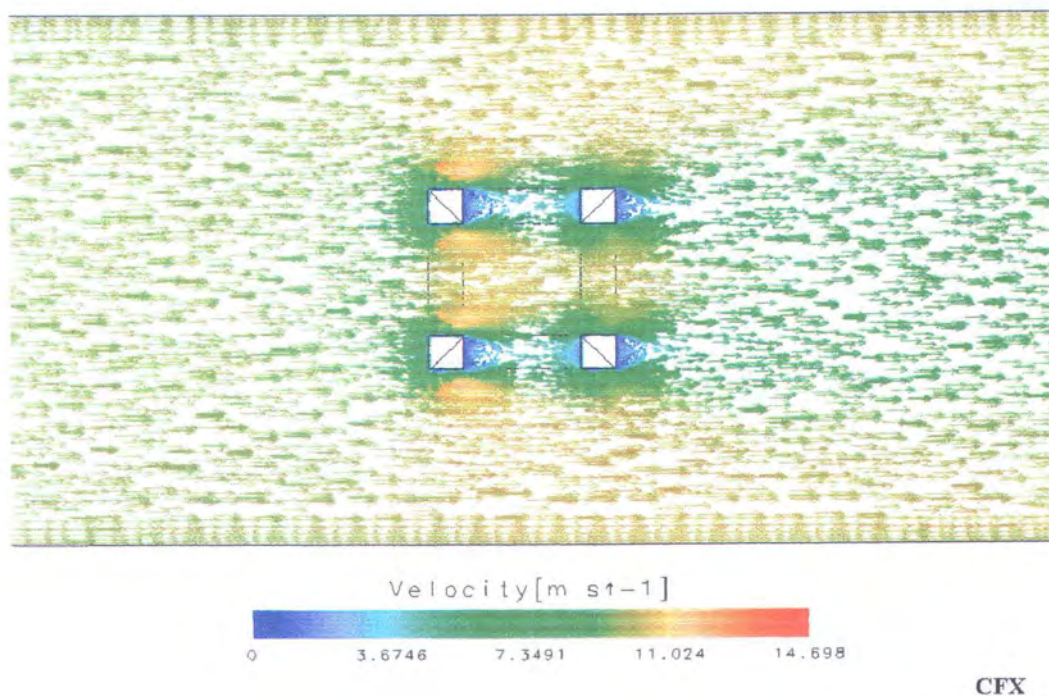
Gambar 6.1.a. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 0.72 s (2 D)



Gambar 6.1.b. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 1.44 s (2 D)

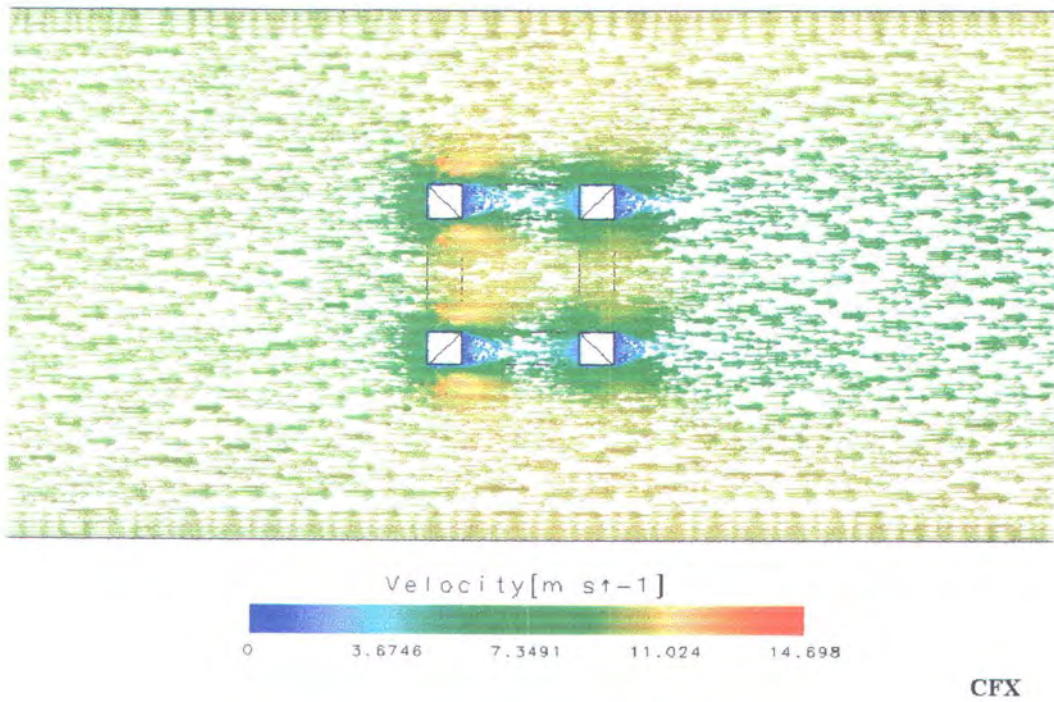


Gambar 6.1.c. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 2.16 s (2 D)

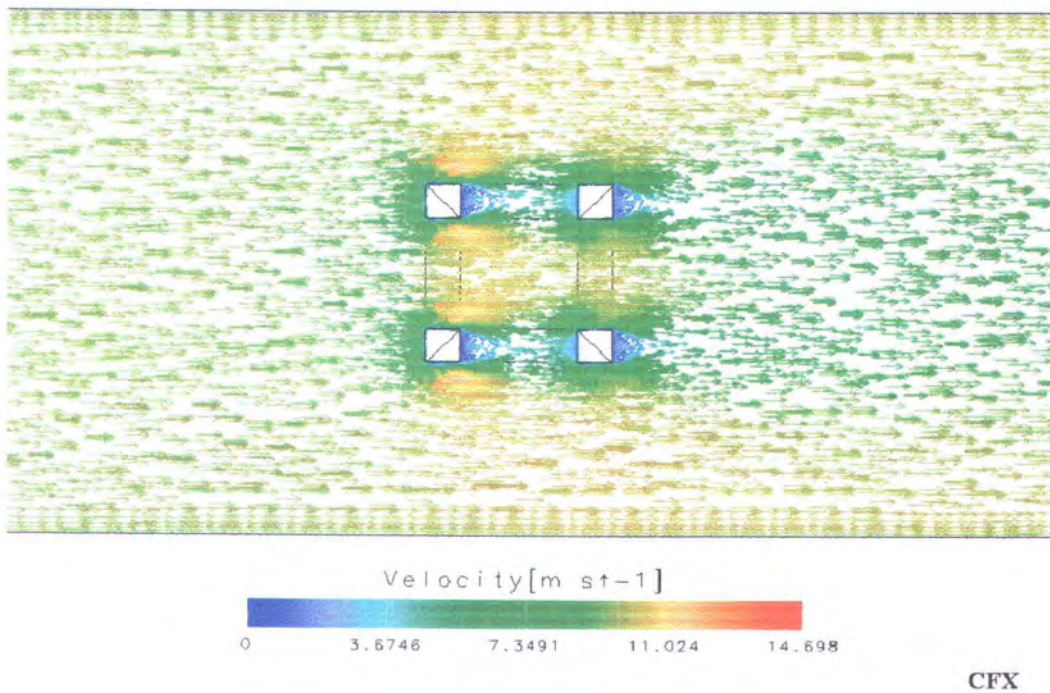


Gambar 6.1.d. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 2.88 s (2 D)

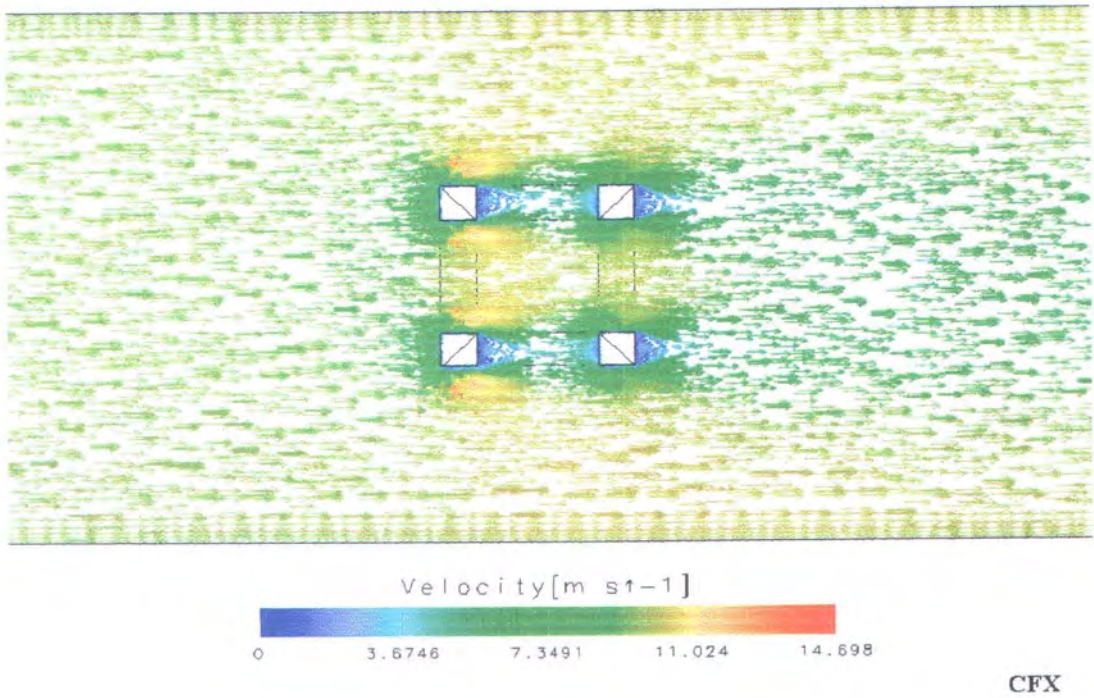




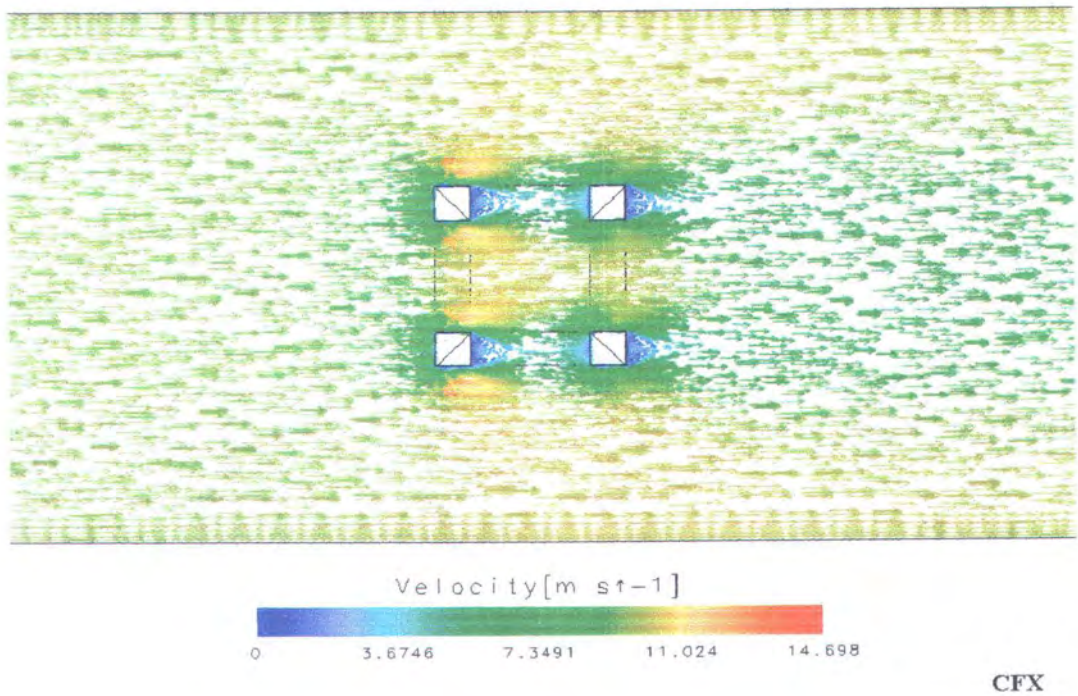
Gambar 6.1.e. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 3.6 s (2 D)



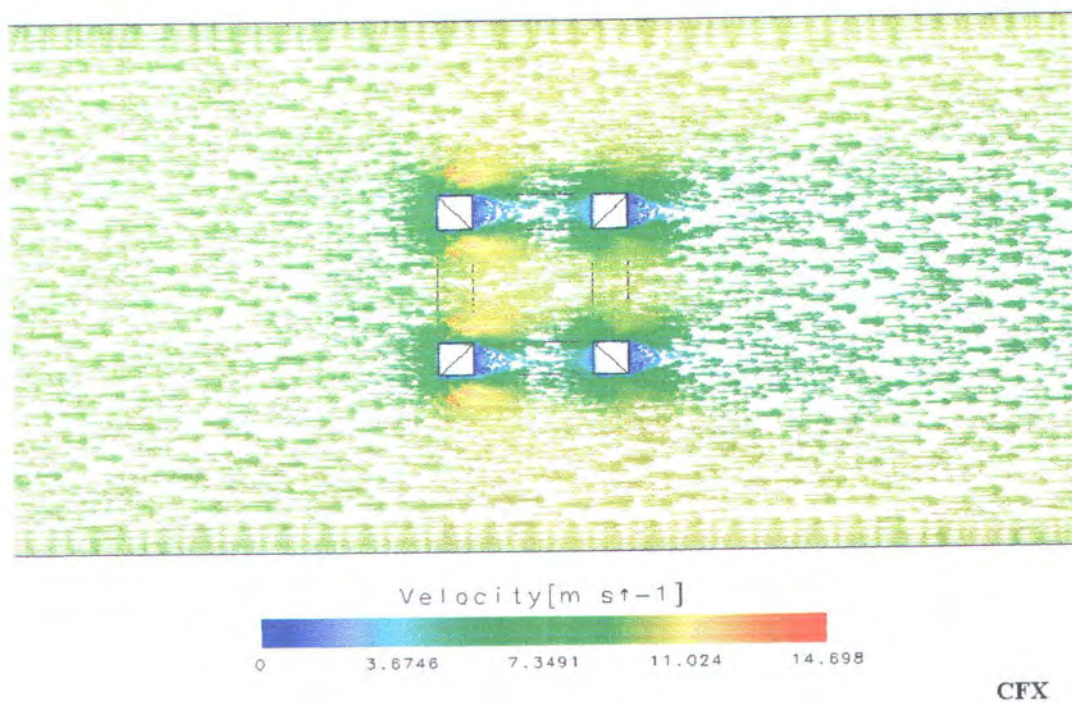
Gambar 6.1.f. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 4.32 s (2 D)



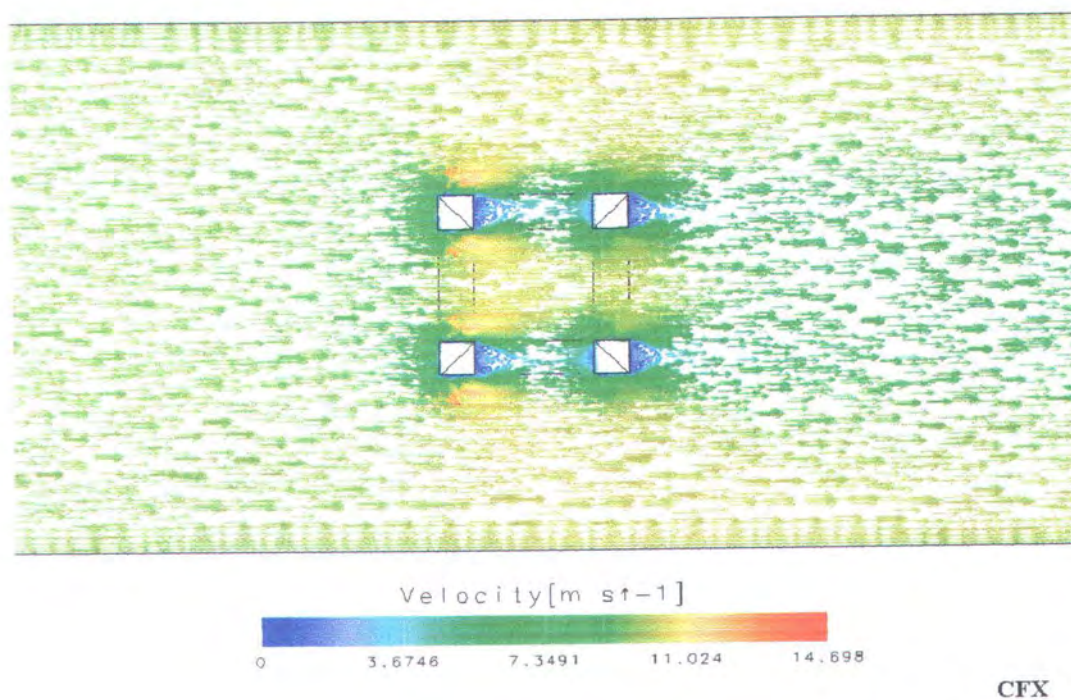
Gambar 6.1.g. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 5.04 s (2 D)



Gambar 6.1.h. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 5.76 s (2 D)

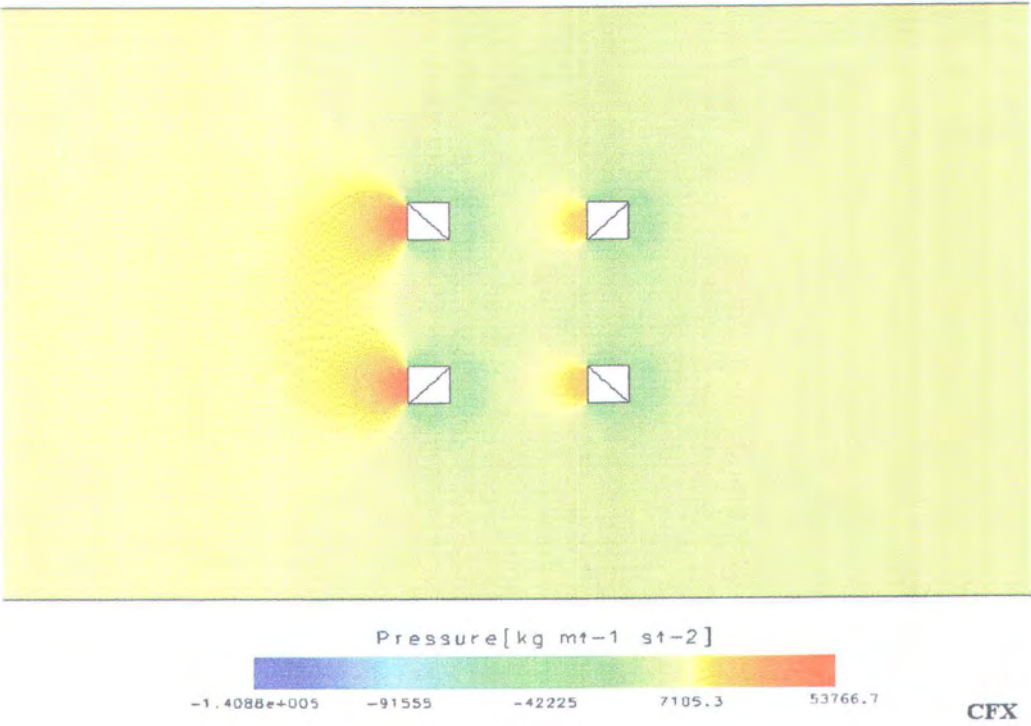


Gambar 6.1.i. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 6.48 s (2 D)

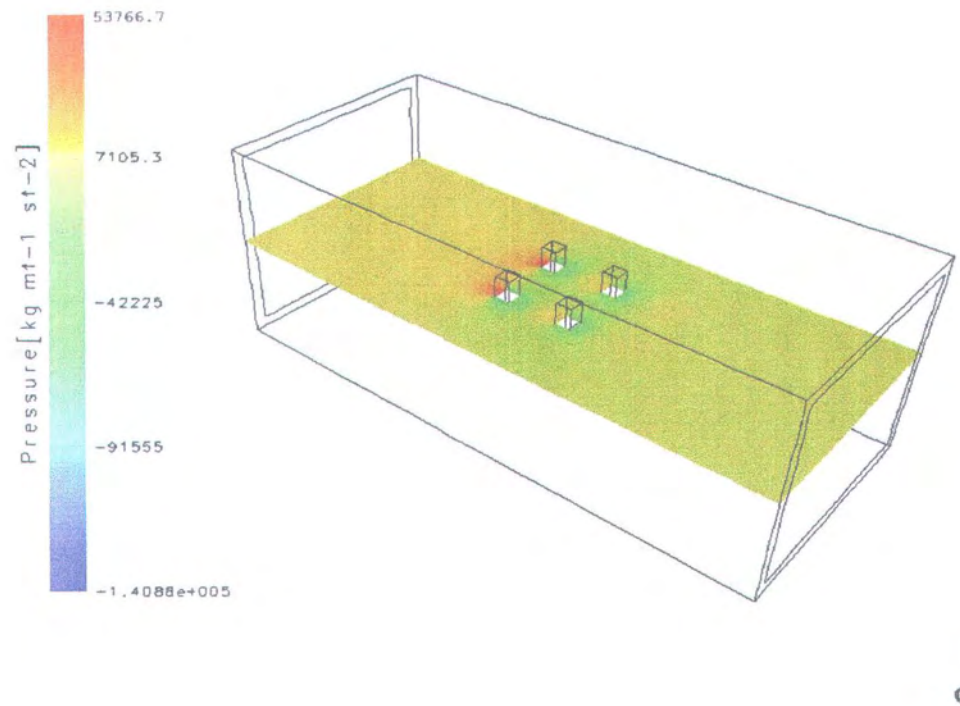


Gambar 6.1.j. Visual Velocity – x Pada KC 5 Timestep 7.2 s (2 D)

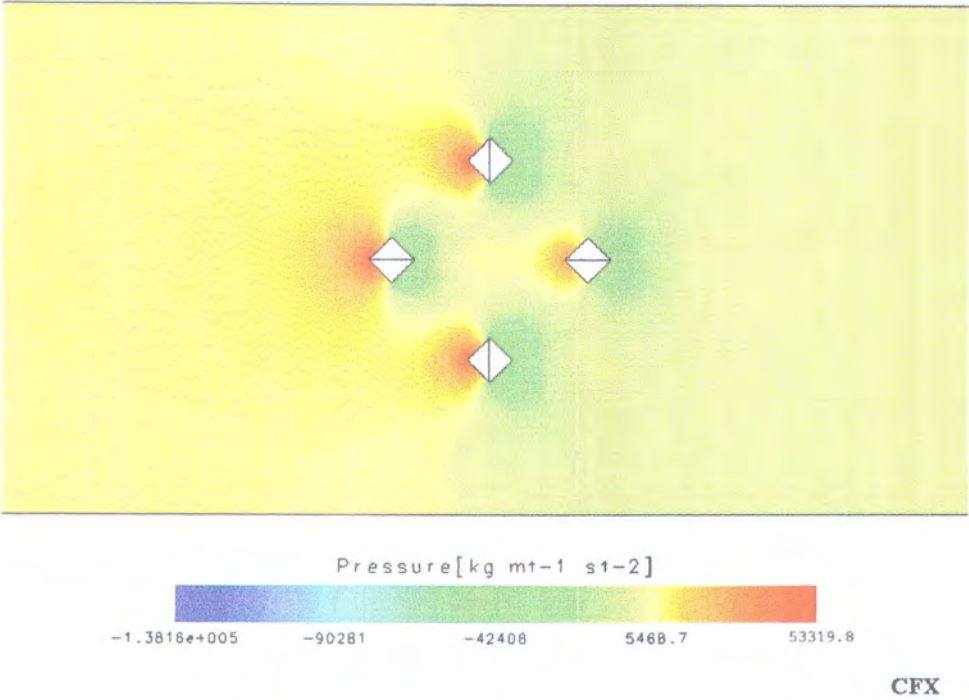
LAMPIRAN 7
CONTOH VISUALISASI PRESSURE



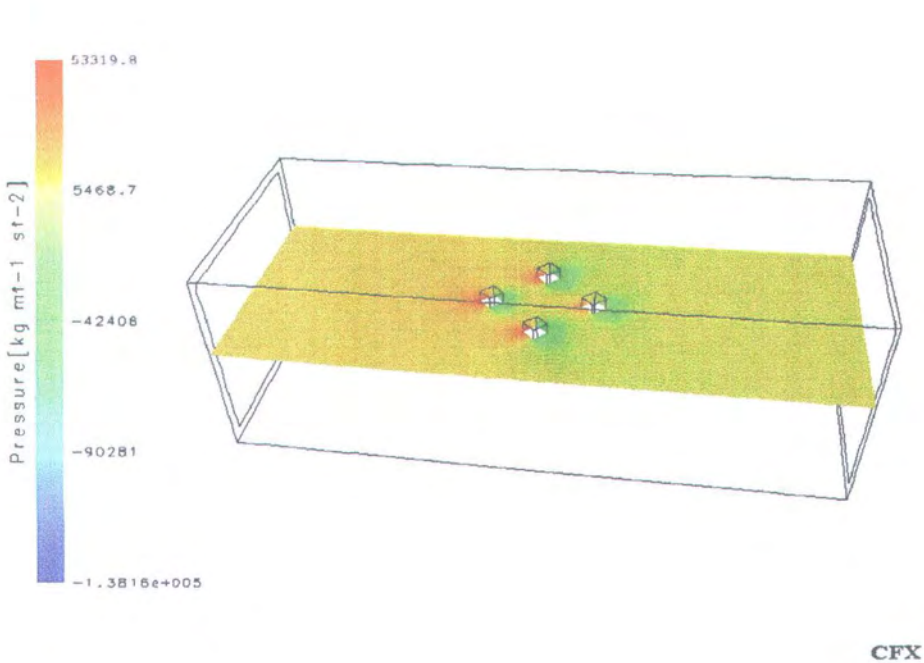
Gambar 7.1.a. Pressure 2 Dimensi Pada KC 5 Arah 0° & 90° Tipe Surface



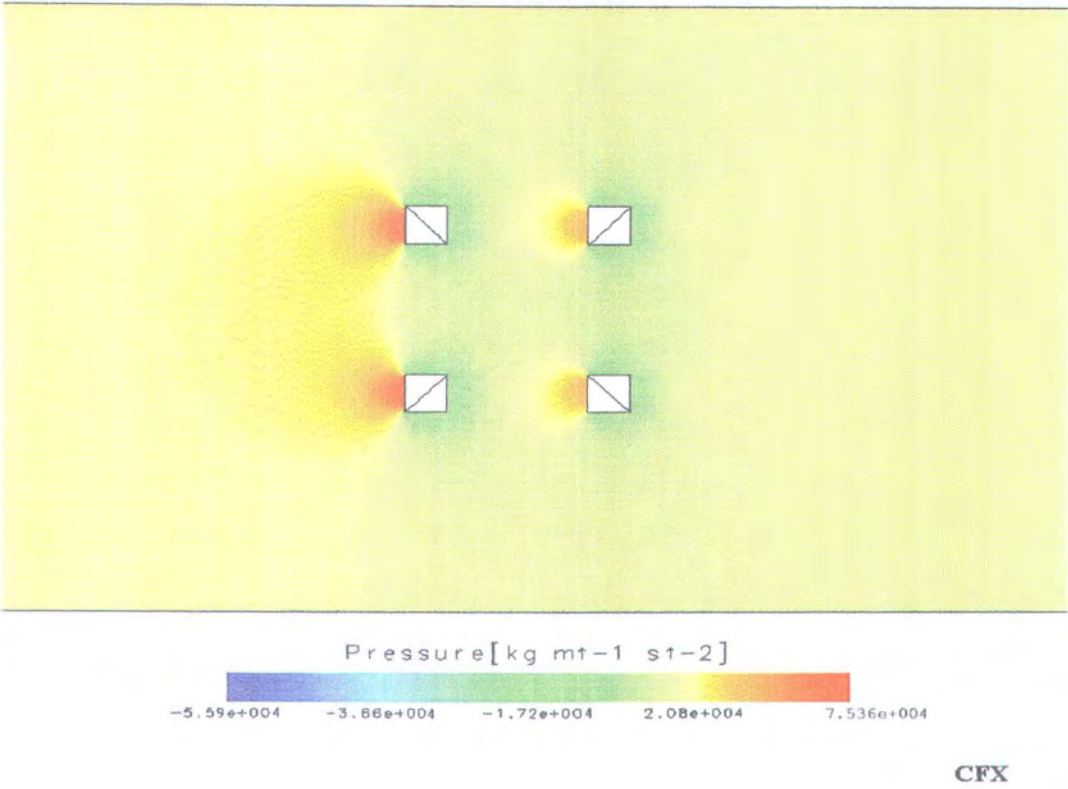
Gambar 7.1.b. Pressure 3 Dimensi Pada KC 5 Arah 0° & 90° Tipe Surface



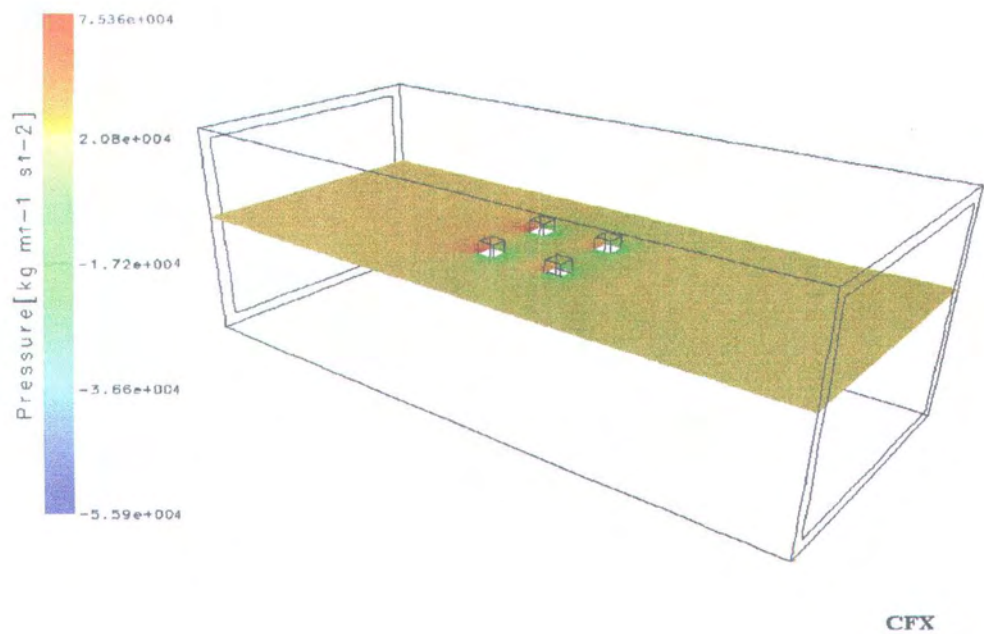
Gambar 7.1.c. Pressure 2 Dimensi Pada KC 5 Arah 45 ° Tipe Surface



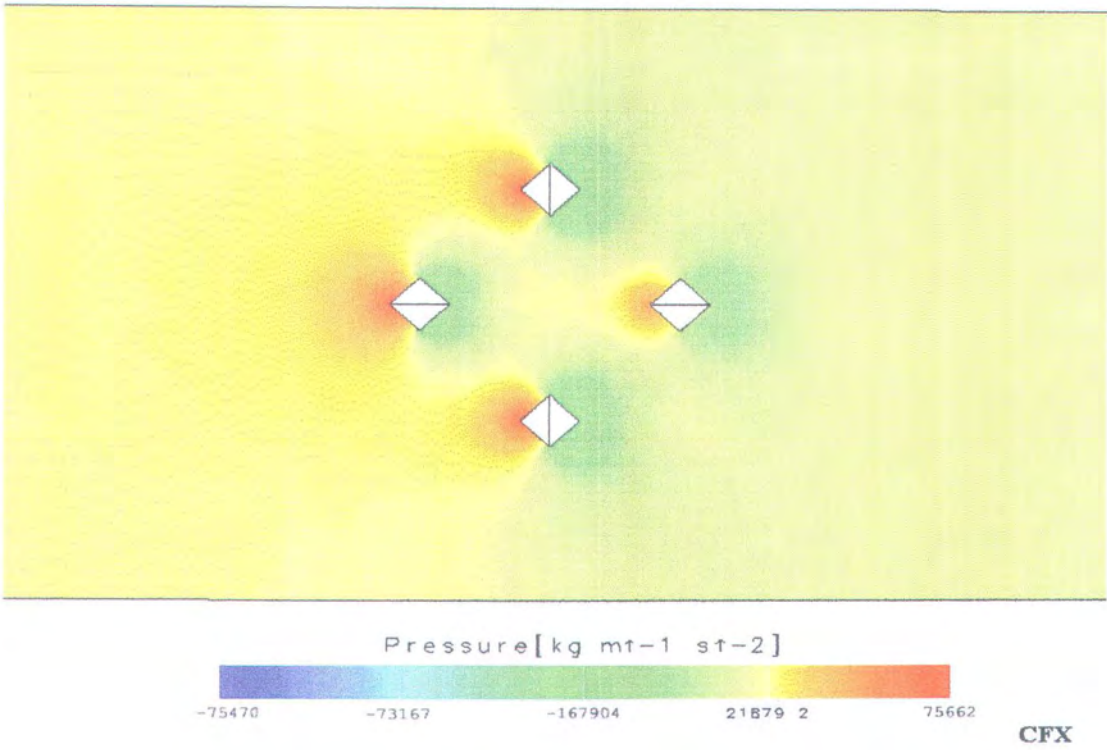
Gambar 7.1.d. Pressure 3 Dimensi Pada KC 5 Arah 45° Tipe Surface



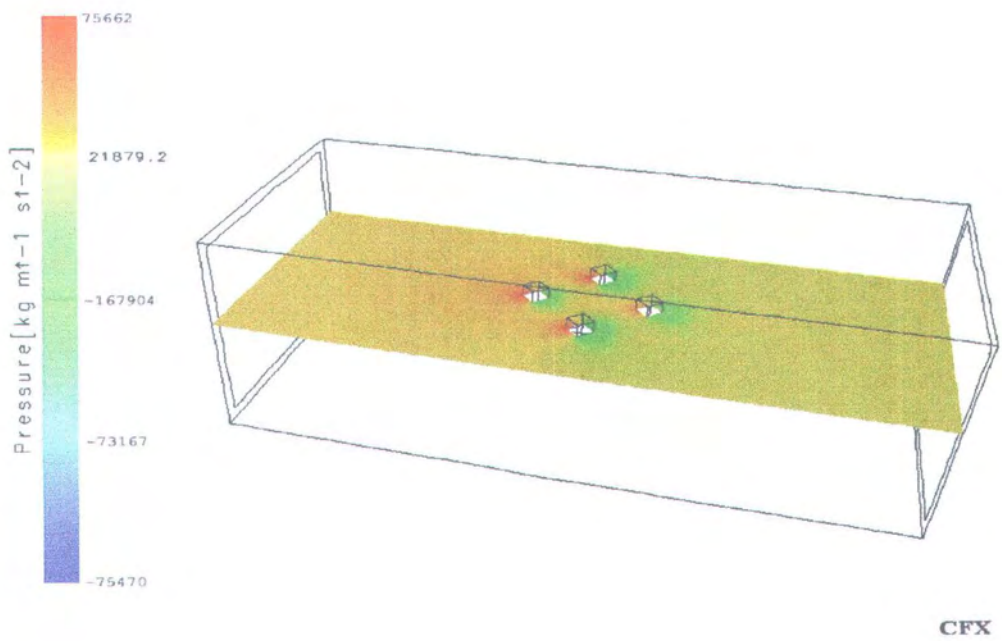
Gambar 7.2.a. Pressure 2 Dimensi Pada KC 10 Arah 0° & 90 ° Tipe Surface



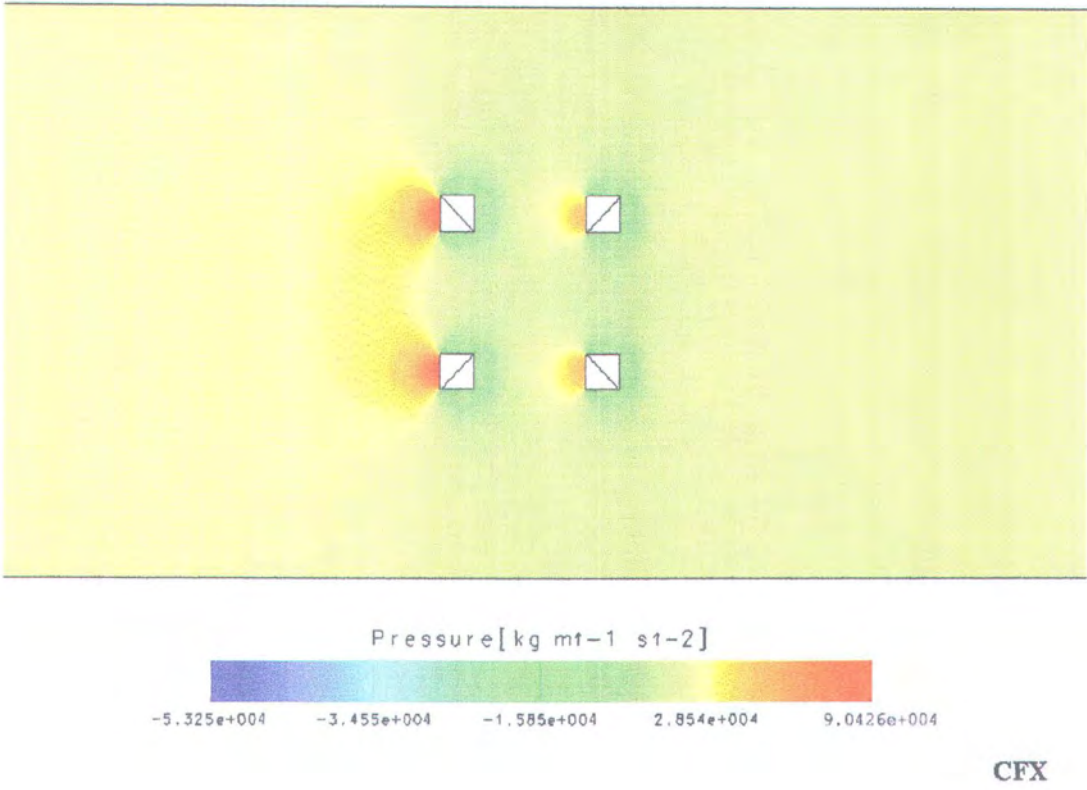
Gambar 7.2.b. Pressure 3 Dimensi Pada KC 10 Arah 45° Tipe Surface



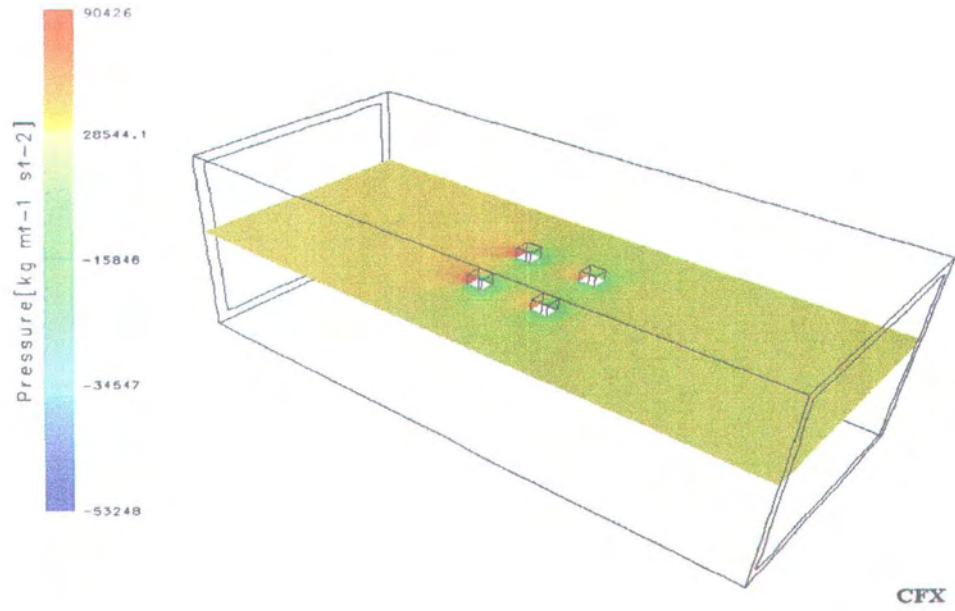
Gambar 7.2.c. Pressure 2 Dimensi Pada KC 10 Arah 45 ° Tipe Surface



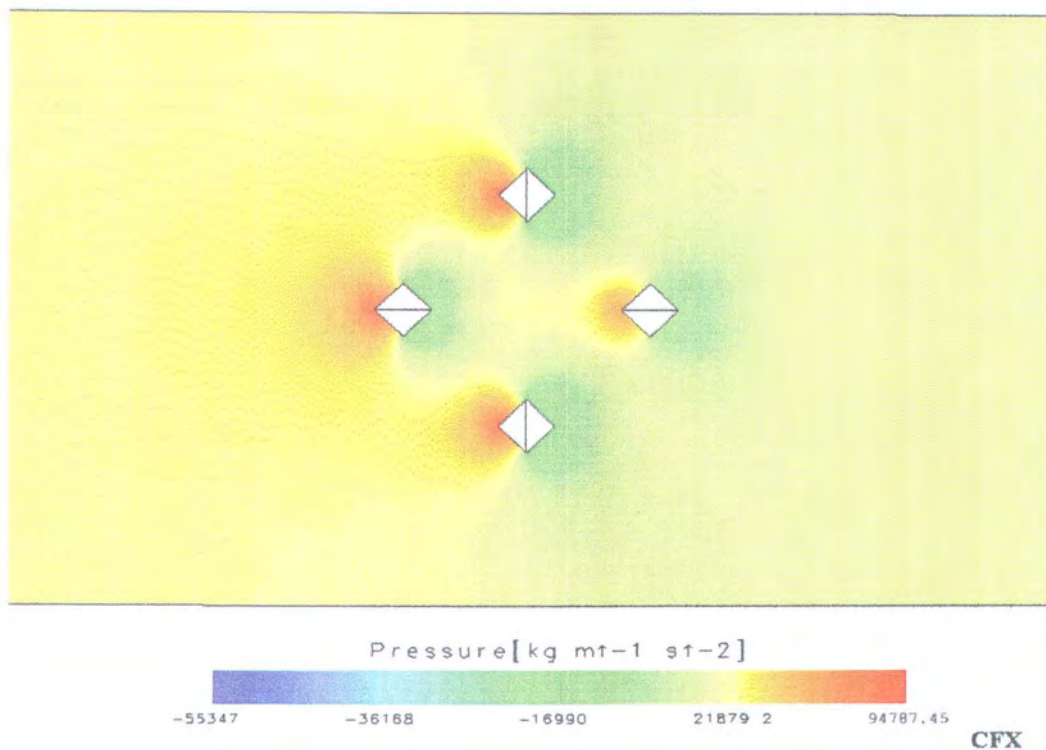
Gambar 7.2.c. Pressure 3 Dimensi Pada KC 10 Arah 45 ° Tipe Surface



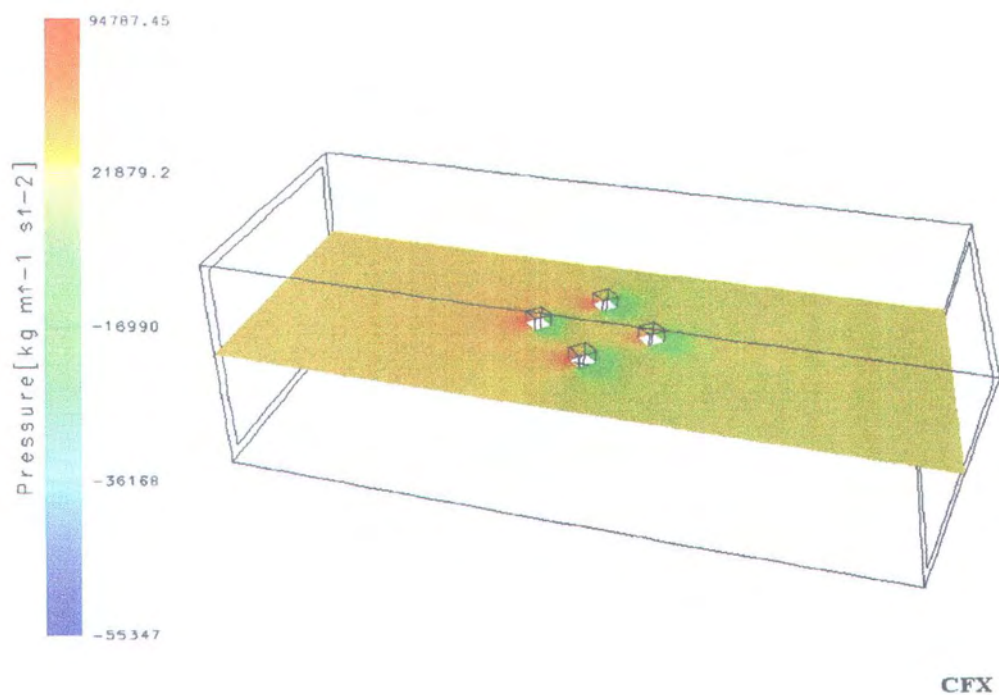
Gambar 7.3.a. Pressure 2 Dimensi Pada KC 15 Arah 0° & 90 ° Tipe Surface



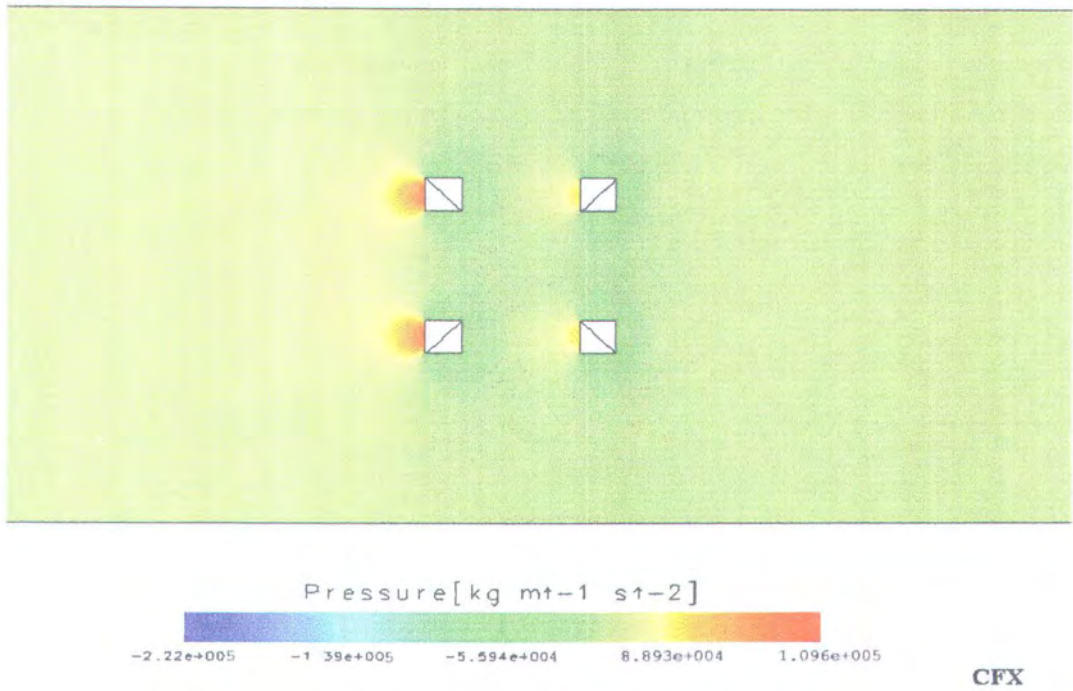
Gambar 7.3.b. Pressure 3 Dimensi Pada KC 15 Arah 45 ° Tipe Surface



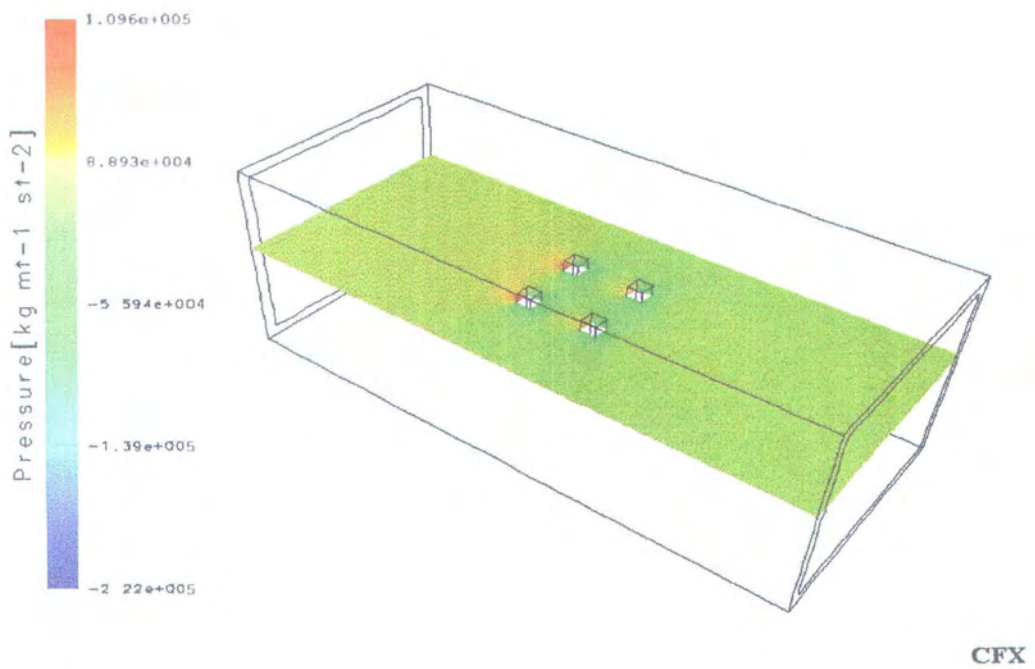
Gambar 7.3.c. Pressure 2 Dimensi Pada KC 15 Arah 45° Tipe Surface



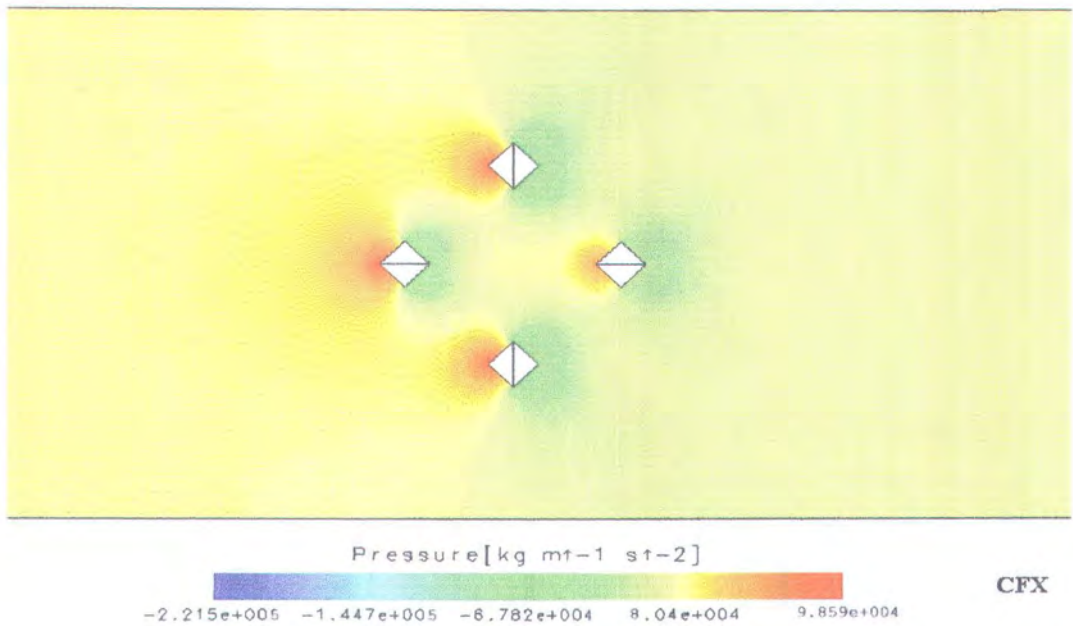
Gambar 7.3.d. Pressure 3 Dimensi Pada KC 15 Arah 45° Tipe Surface



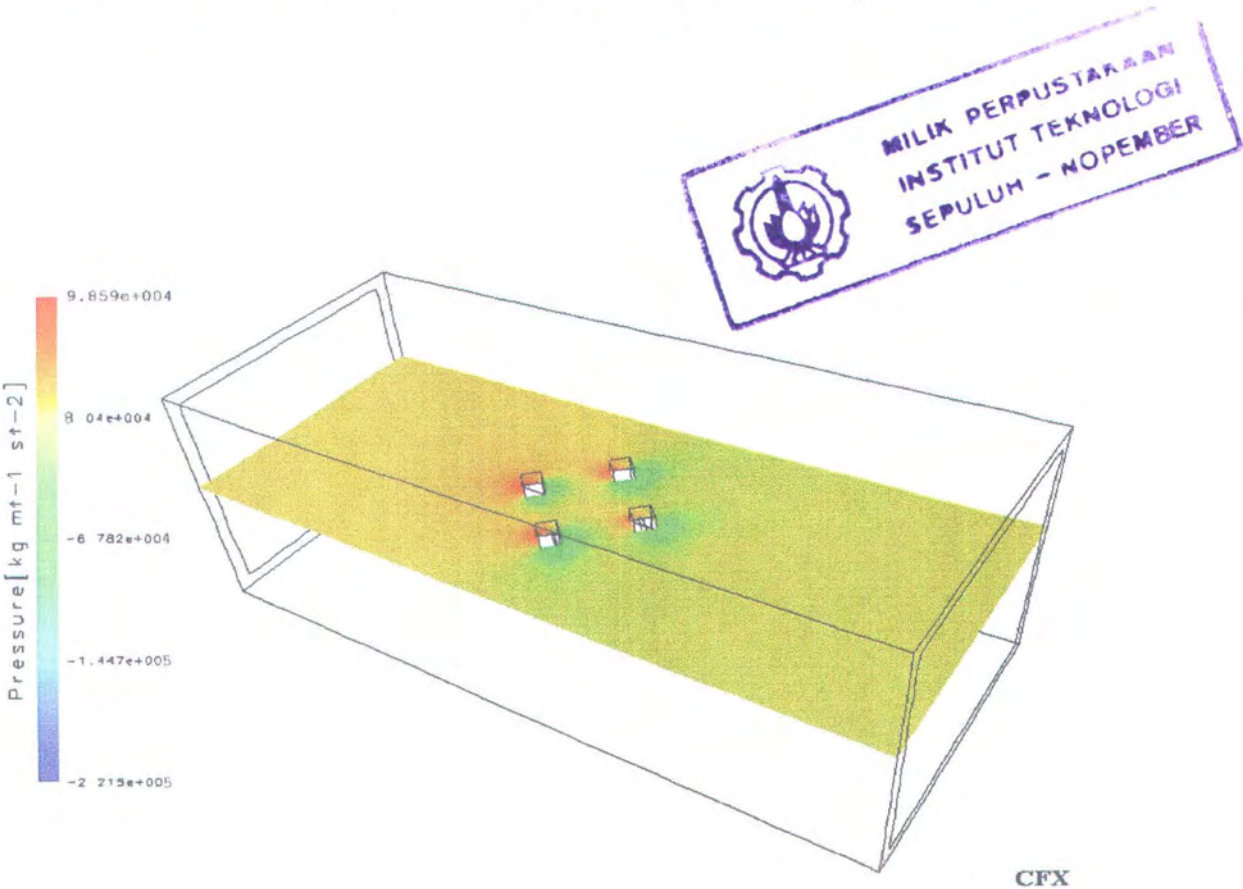
Gambar 7.4.a. Pressure 2 Dimensi Pada KC 20 Arah 0° & 90 ° Tipe Surface



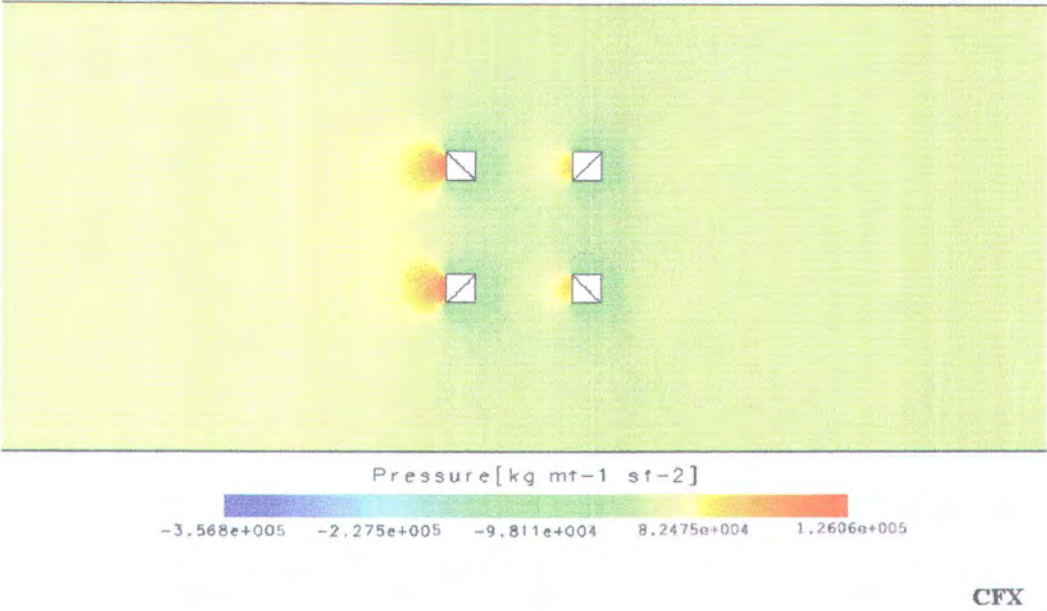
Gambar 7.4.b. Pressure 3 Dimensi Pada KC 20 Arah 0 ° & 90 Tipe Surface



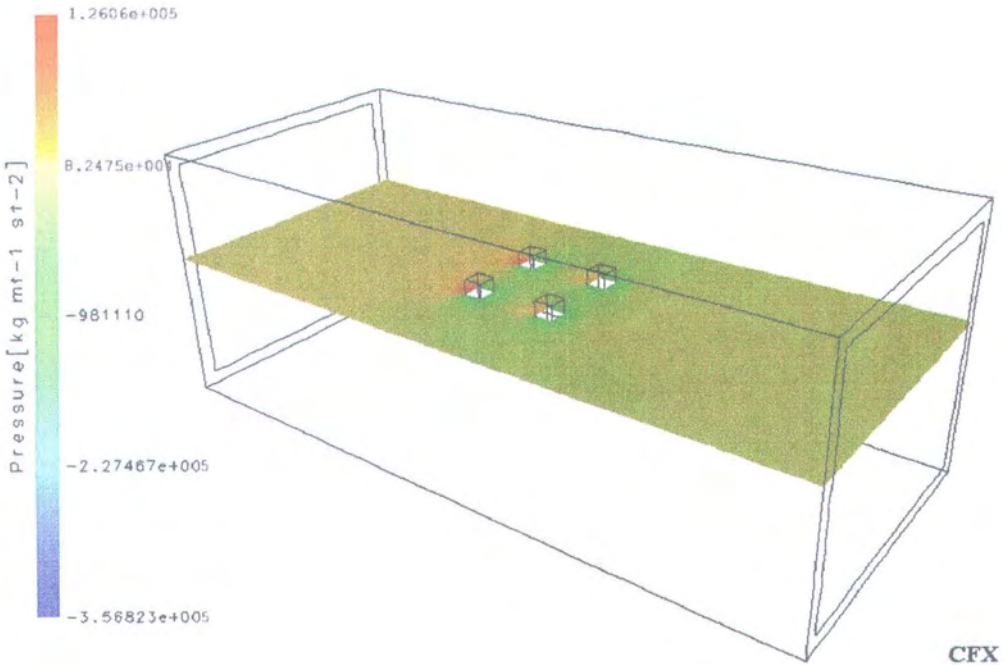
Gambar 7.4.C. Pressure 2 Dimensi Pada KC 20 Arah 45° Tipe Surface



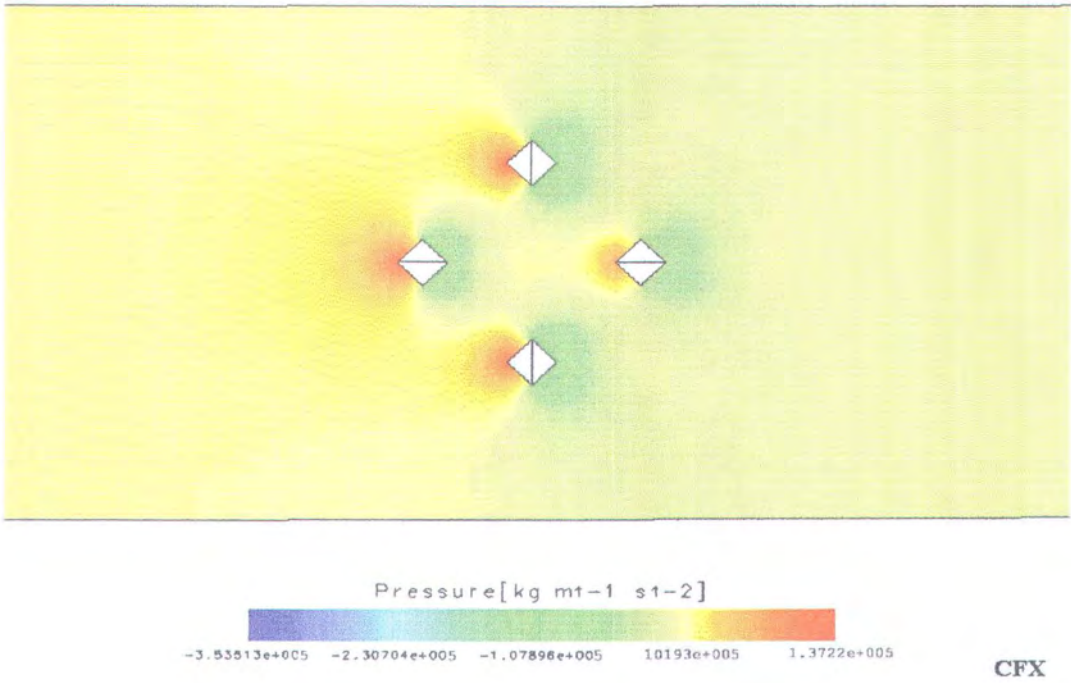
Gambar 7.4.C. Pressure 3 Dimensi Pada KC 20 Arah 45° Tipe Surface



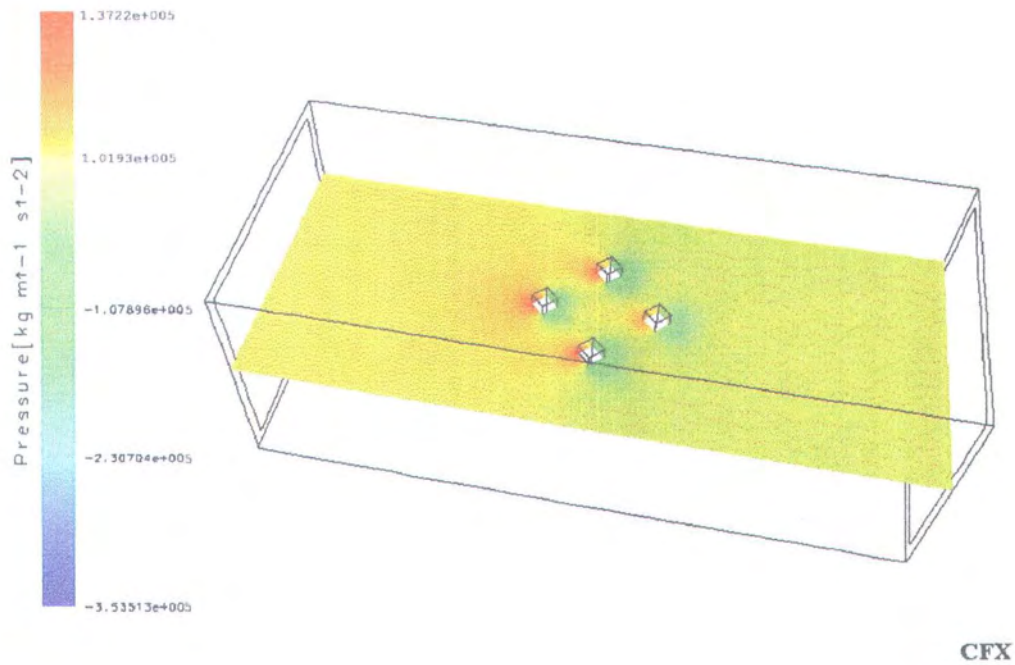
Gambar 7.5.a. Pressure 2 Dimensi Pada KC 25 Arah 0° & 90 ° Tipe Surface



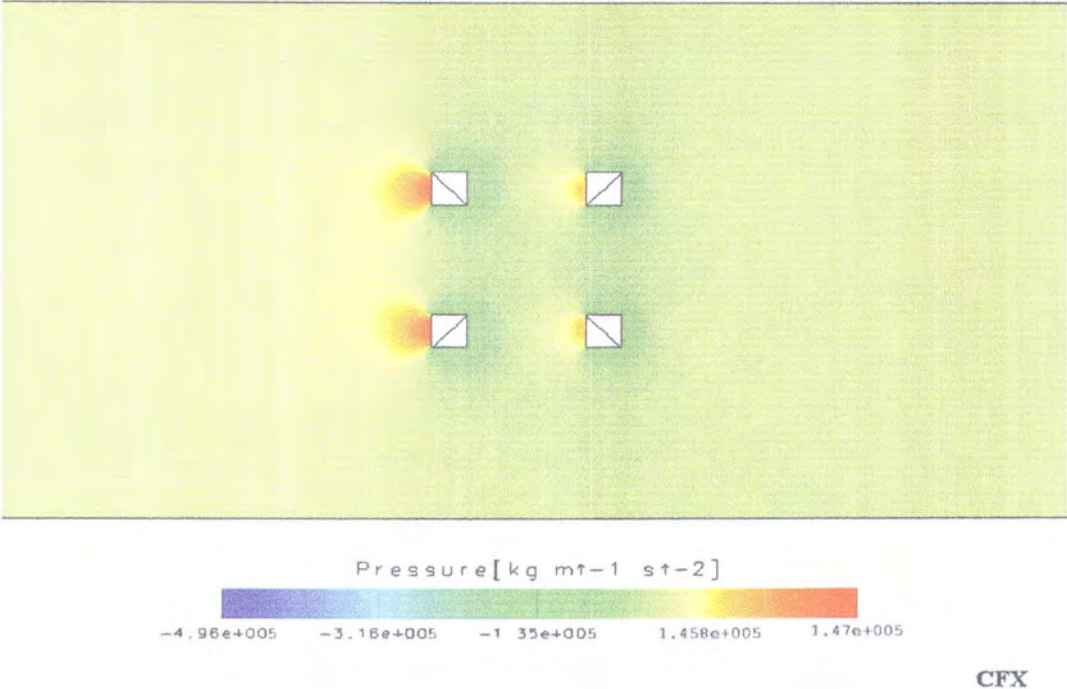
Gambar 7.5.b. Pressure 3 Dimensi Pada KC 25 Arah 0° & 90 ° Tipe Surface



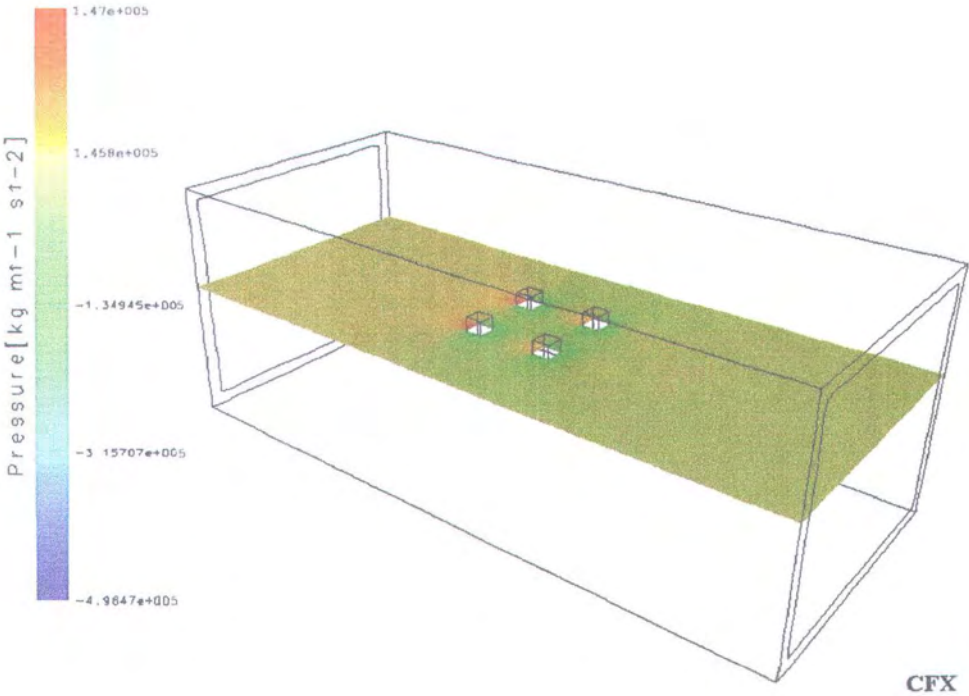
Gambar 7.5.c. Pressure 2 Dimensi Pada KC 25 Arah 45° Tipe Surface



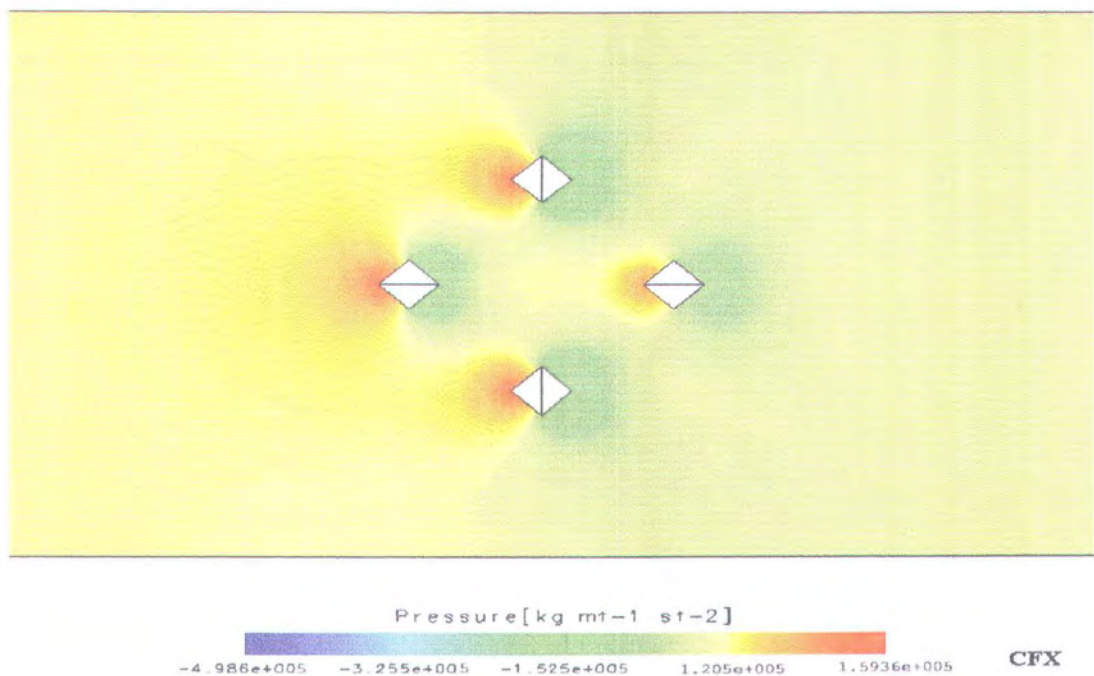
Gambar 7.5.d. Pressure 3 Dimensi Pada KC 25 Arah 45° Tipe Surface



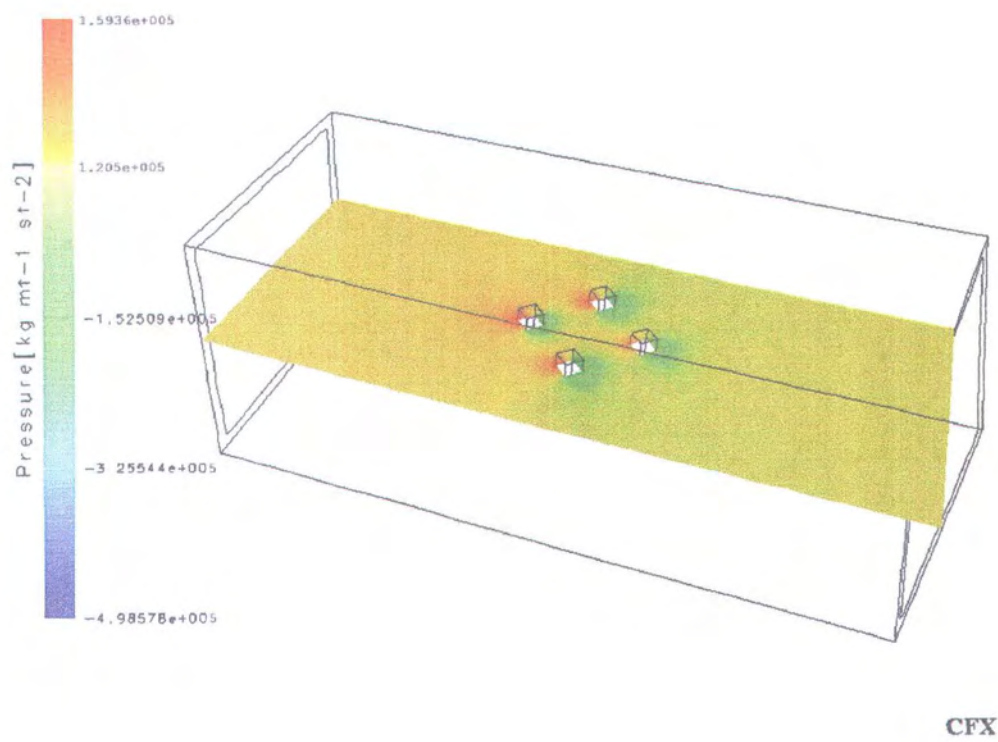
Gambar 7.6.a. Pressure 2 Dimensi Pada KC 30 Arah 0° & 90 ° Tipe Surface



Gambar 7.6.b. Pressure 3 Dimensi Pada KC 30 Arah 0° & 90 ° Tipe Surface

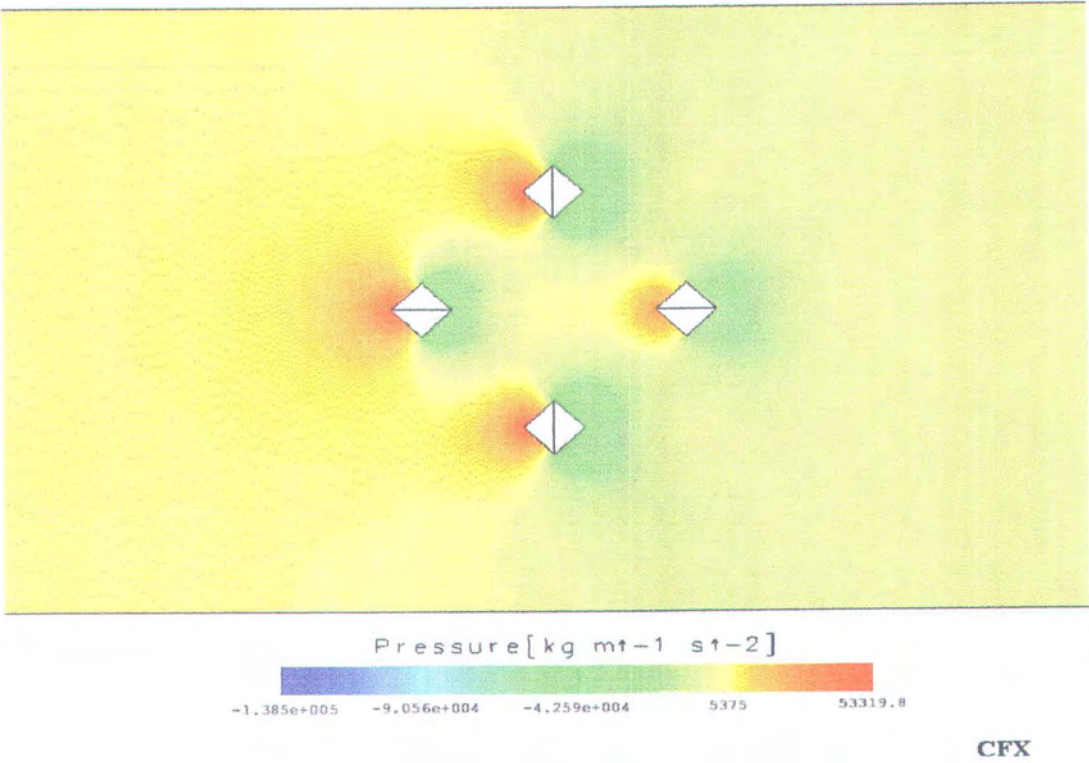


Gambar 7.6.c. Pressure 2 Dimensi Pada KC 30 Arah 45 ° Tipe Surface

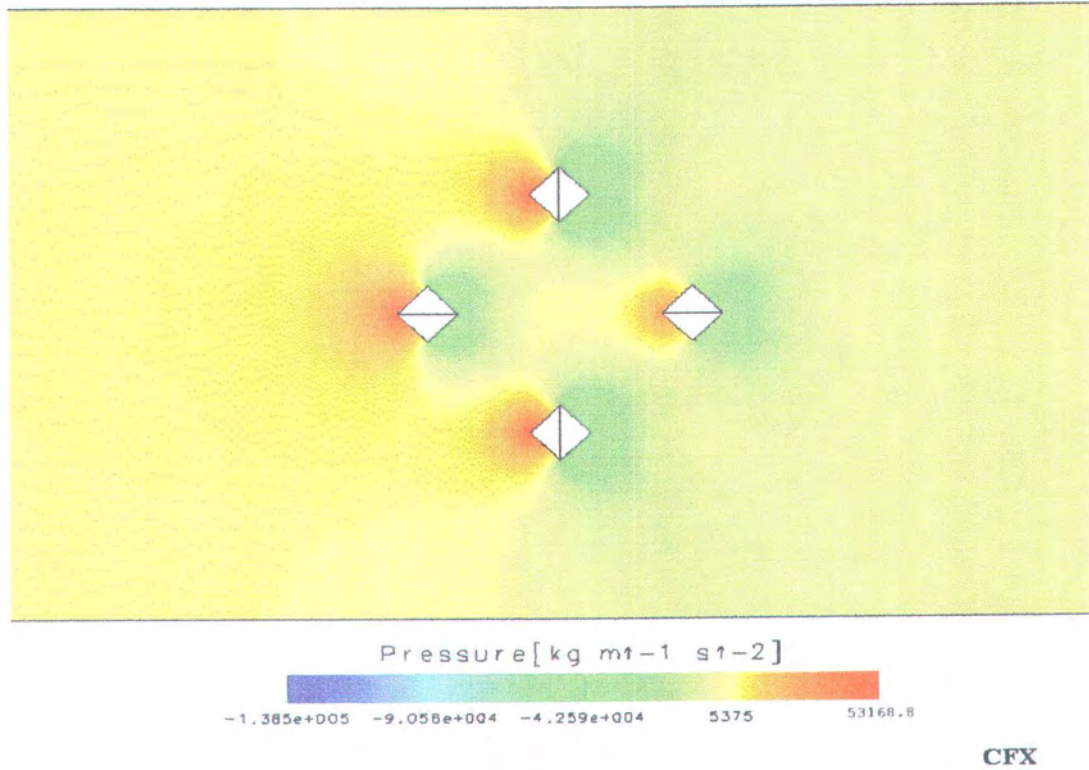


Gambar 7.6.d. Pressure 3 Dimensi Pada KC 30 Arah 45 ° Tipe Surface

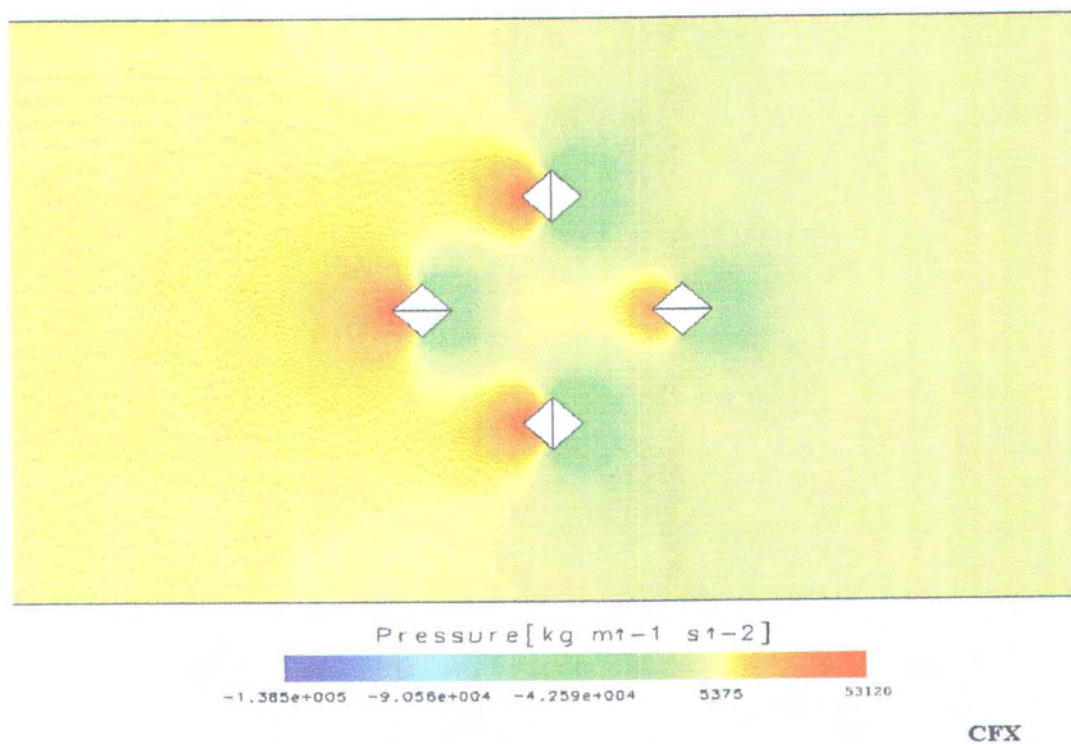
LAMPIRAN 8
CONTOH VISUALISASI PRESSURE TIAP TIMESTEP



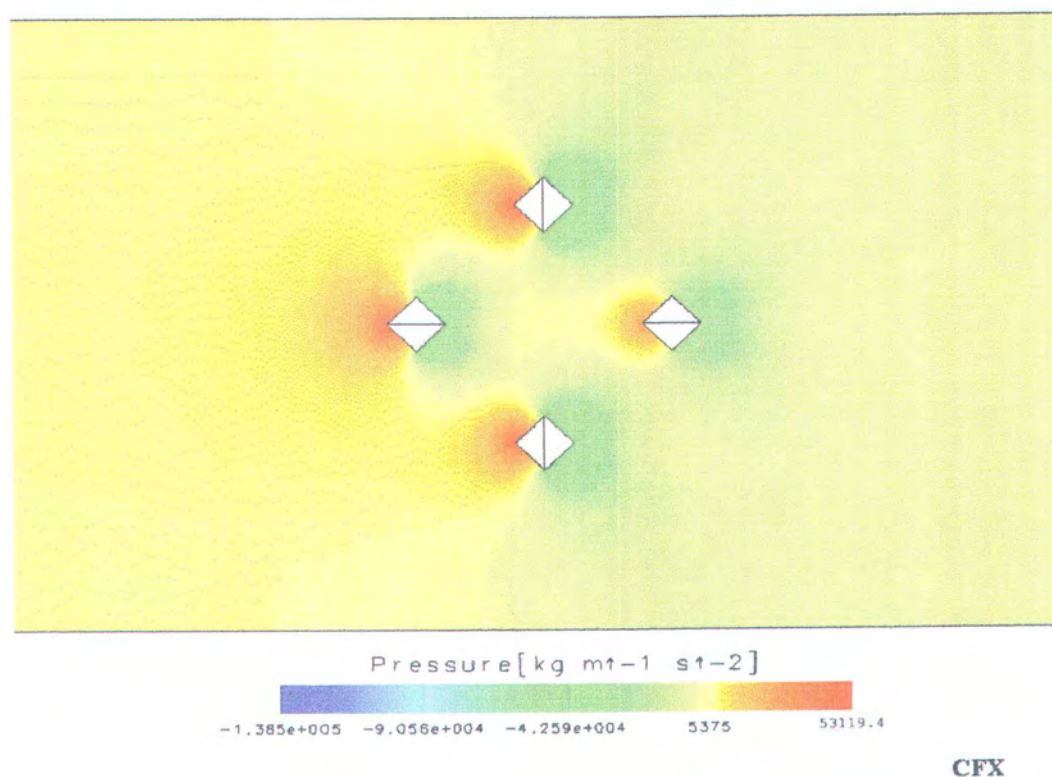
Gambar.8.1.Pressure KC 5 Arah 45° Pada Timestep 0.72 s (2D)



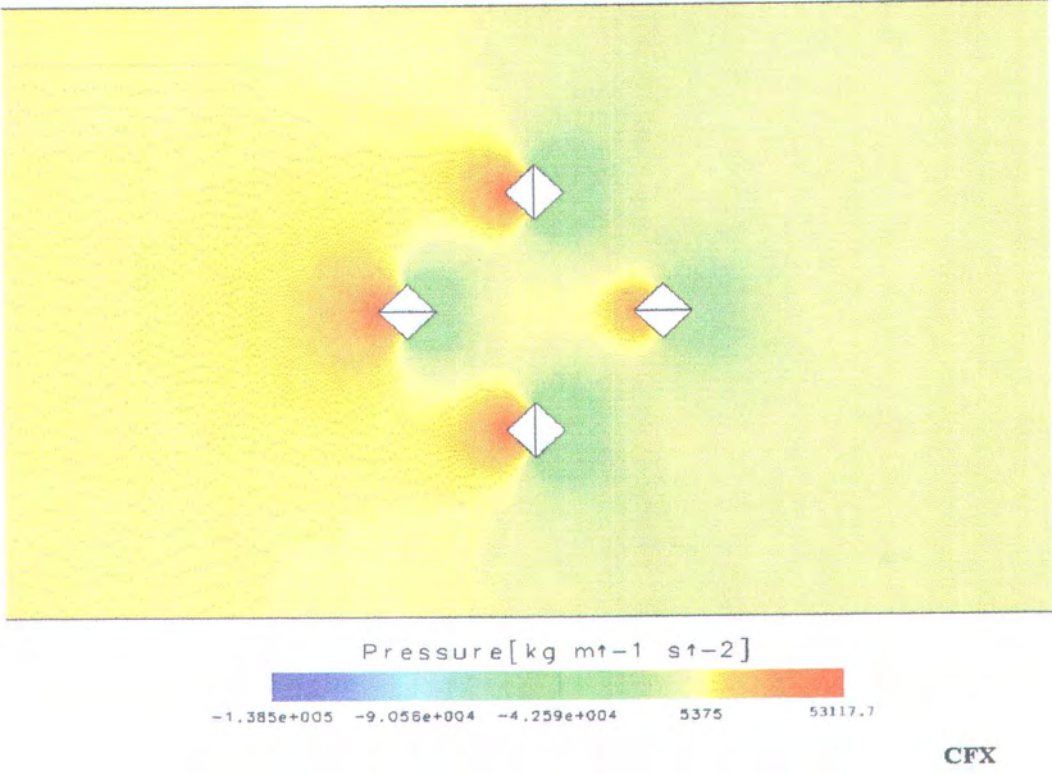
Gambar.8.2.Pressure KC 5 Arah 45° Pada Timestep 1.44 s (2D)



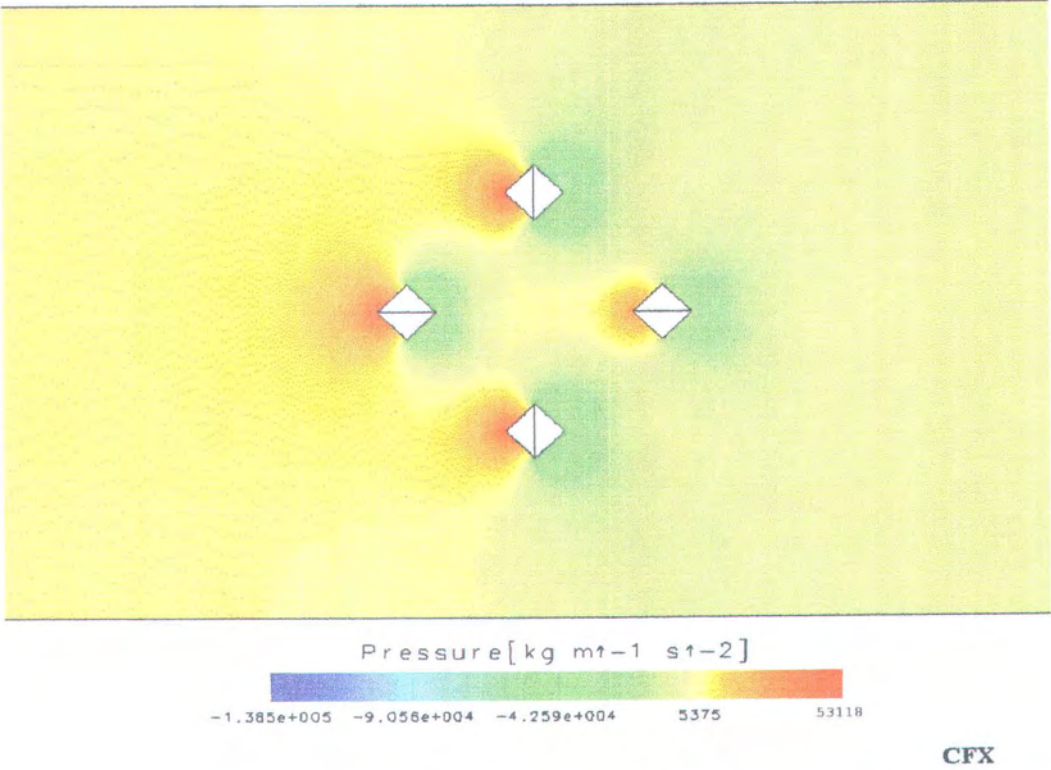
Gambar.8.3. Pressure KC 5 Arah 45° Pada Timestep 2.16 s (2D)



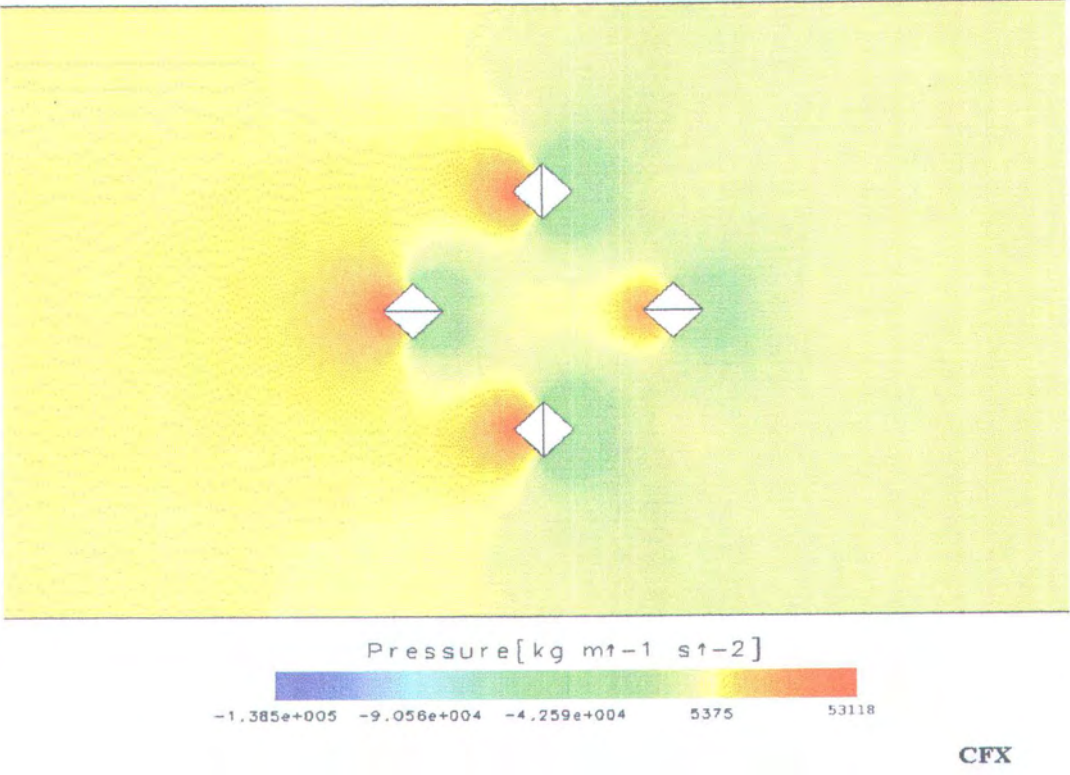
Gambar.8.4. Pressure KC 5 Arah 45° Pada Timestep 2.88 s (2D)



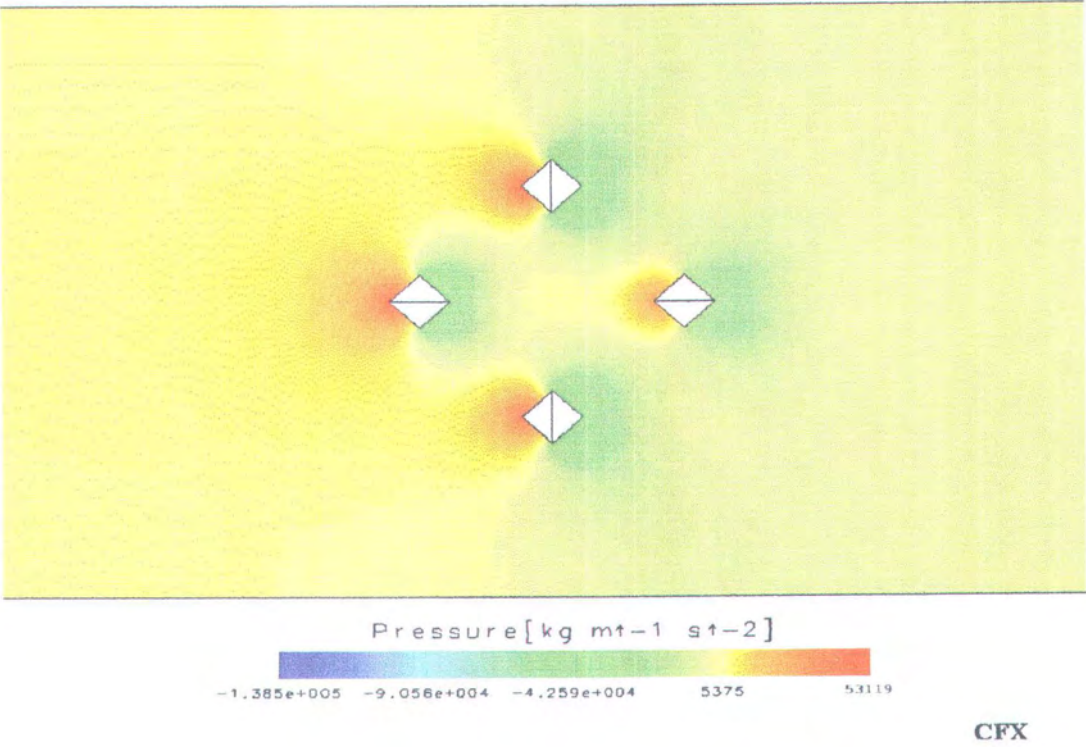
Gambar.8.5.Pressure KC 5 Arah 45° Pada Timestep 3.6 s (2D)



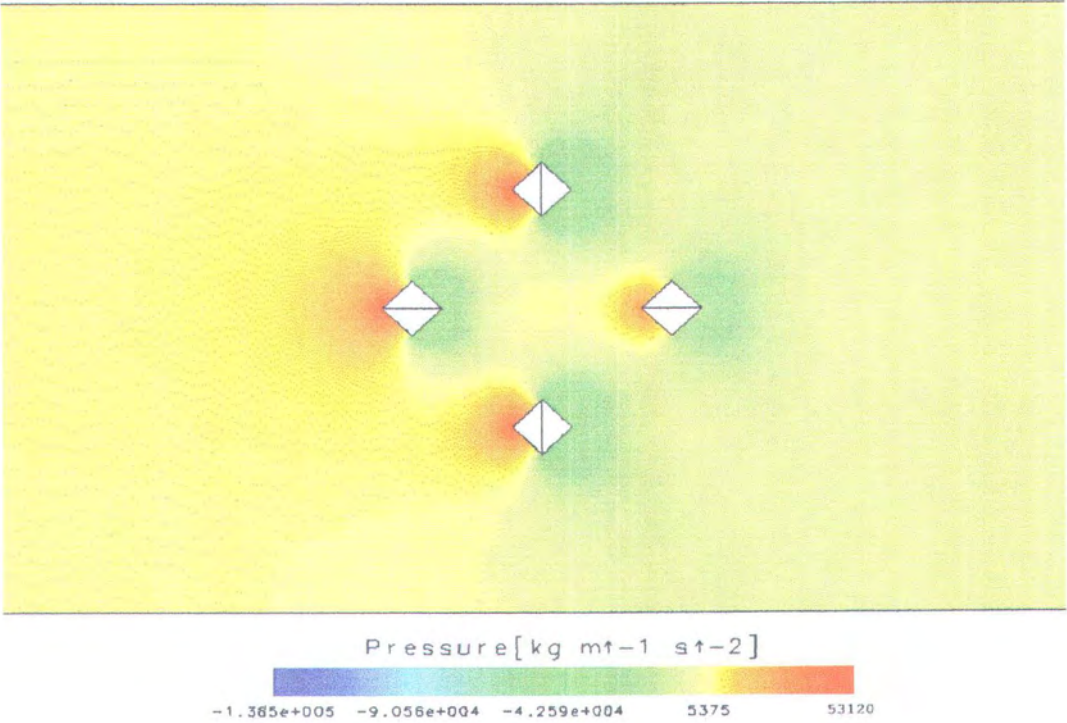
Gambar.8.6.Pressure KC 5 Arah 45° Pada Timestep 4.32 s (2D)



Gambar.8.7.Pressure KC 5 Arah 45° Pada Timestep 5.04 s (2D)



Gambar.8.8.Pressure KC 5 Arah 45° Pada Timestep 5.76 s (2D)



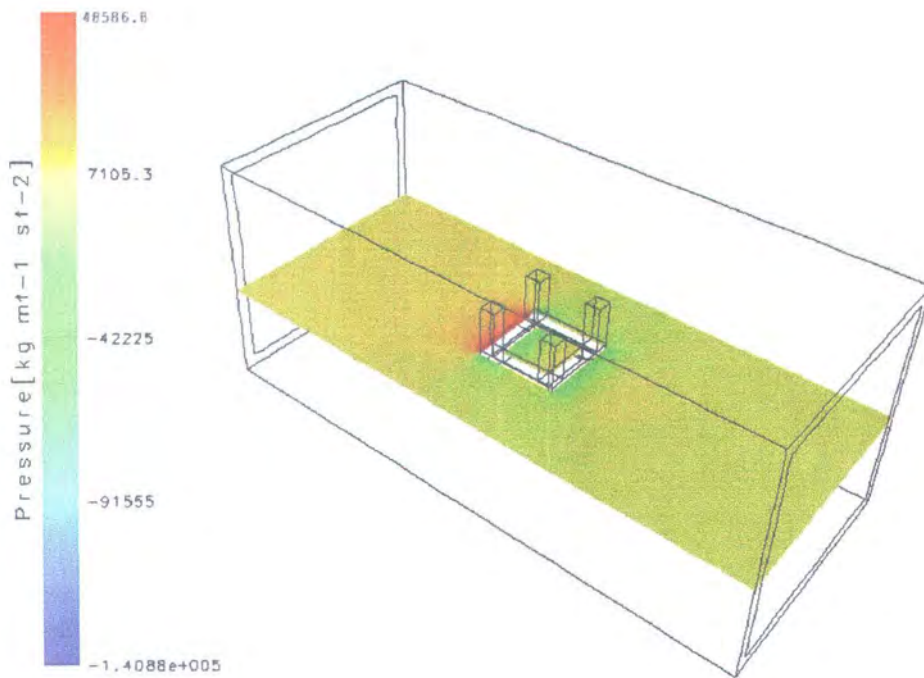
CFX

Gambar.8.9.Pressure KC 5 Arah 45° Pada Timestep 6.48 s (2D)



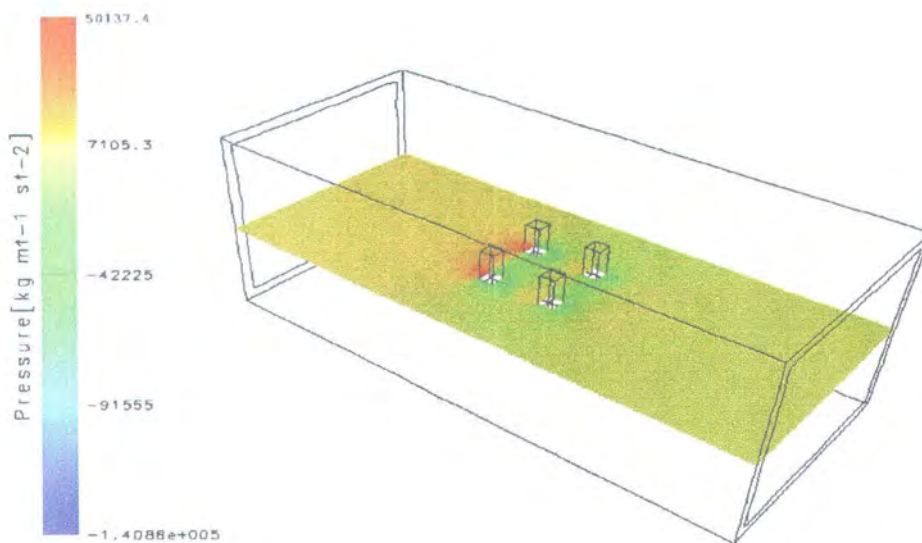
LAMPIRAN 9
CONTOH VISUALISASI PRESSURE-Z





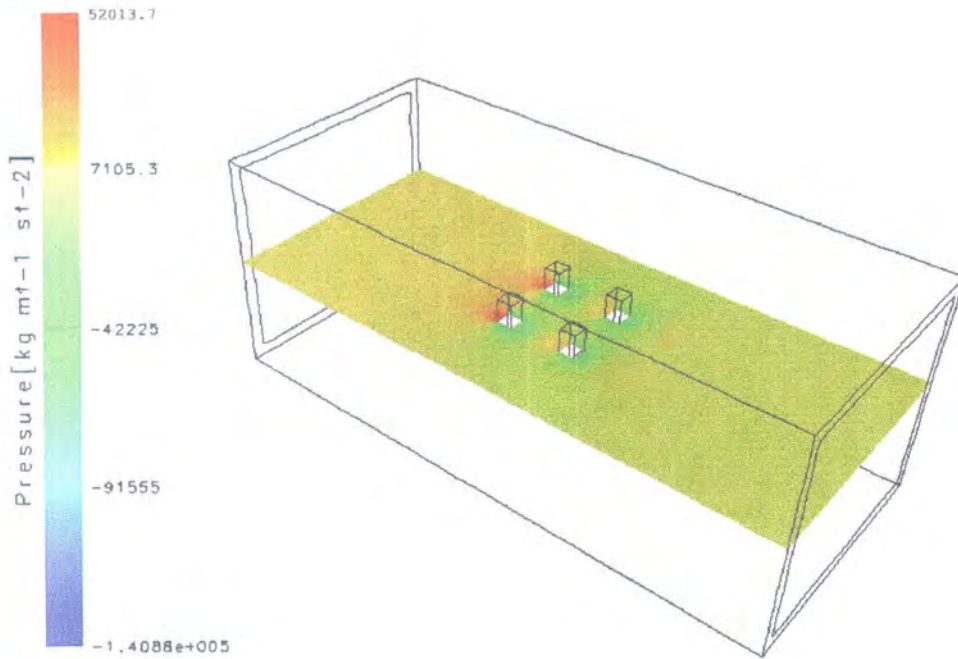
CFX

Gambar 9.1. Pressure KC 5 Arah Sudut Datang 0 ° & 90° (z = -28.95 m)



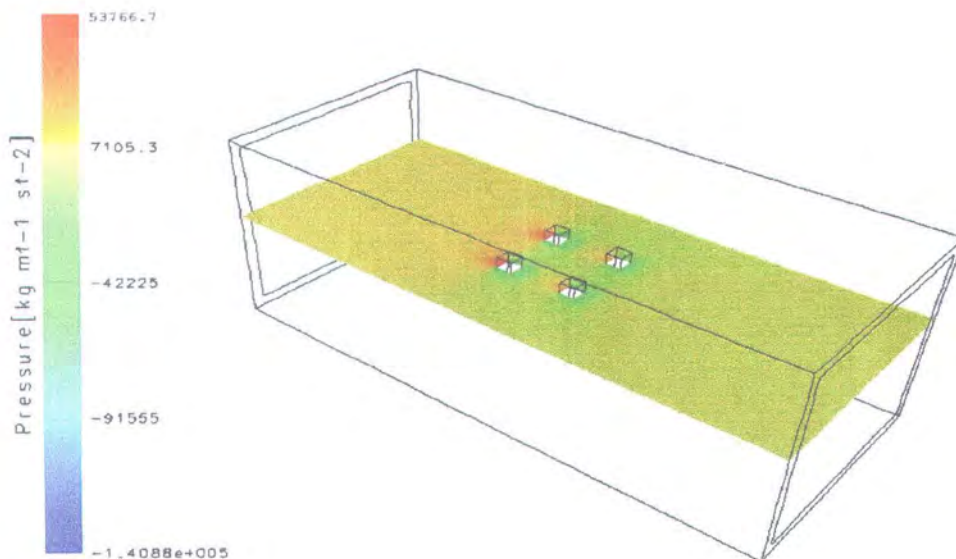
CFX

Gambar 9.2. Pressure KC 5 Arah Sudut Datang 0 ° & 90° (z = -19.3 m)



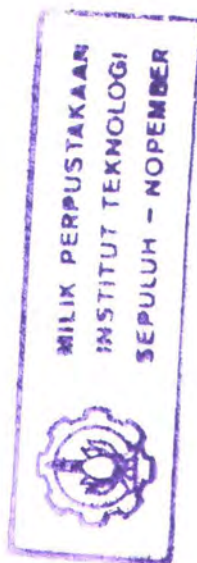
CFX

Gambar 9.3. Pressure KC 5 Arah sudut Datang 0 ° & 90° (z = -9.65 m)

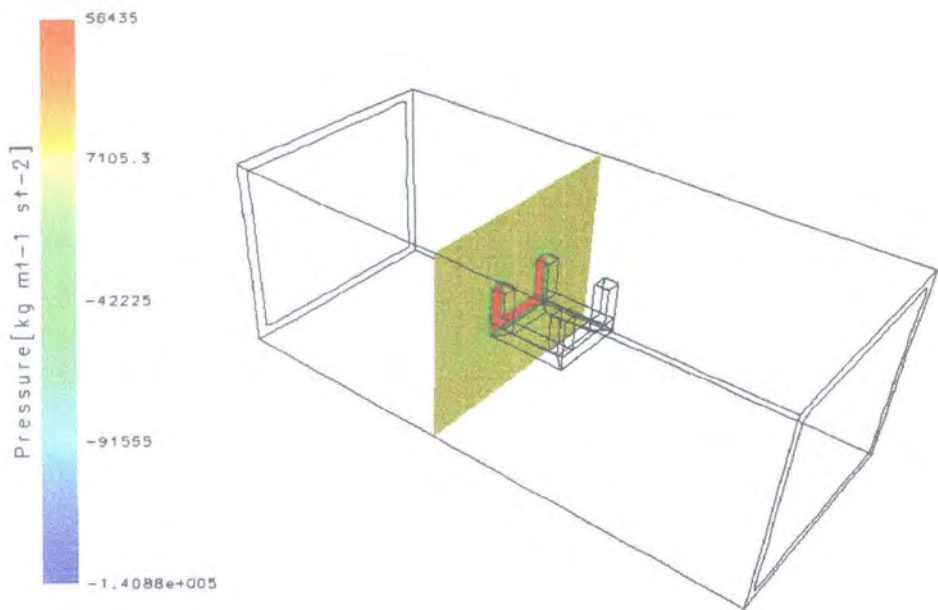


CFX

Gambar 9.4. Pressure KC 5 Arah sudut Datang 0 ° & 90° (z = 0 m)

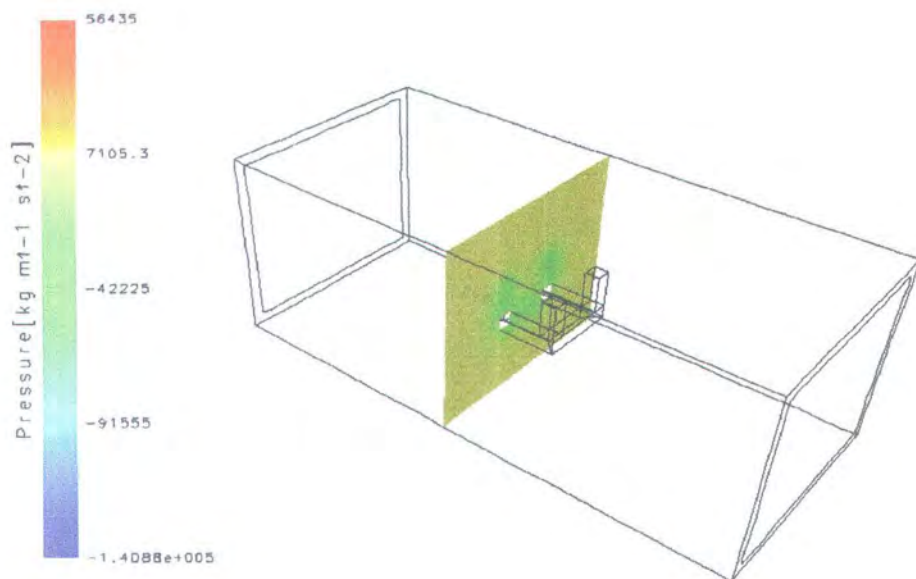


LAMPIRAN 10
CONTOH VISUALISASI PRESSURE POTONGAN
VERTICAL



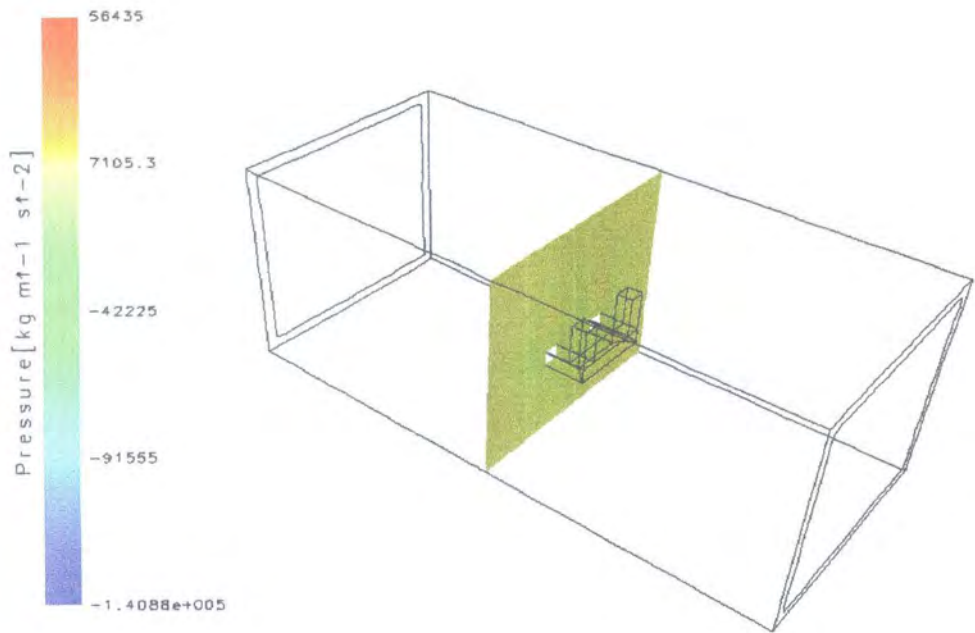
CFX

Gambar.10.1.a. Pressure Arah 0° & 90° Potongan Vertical (x = 0 m)



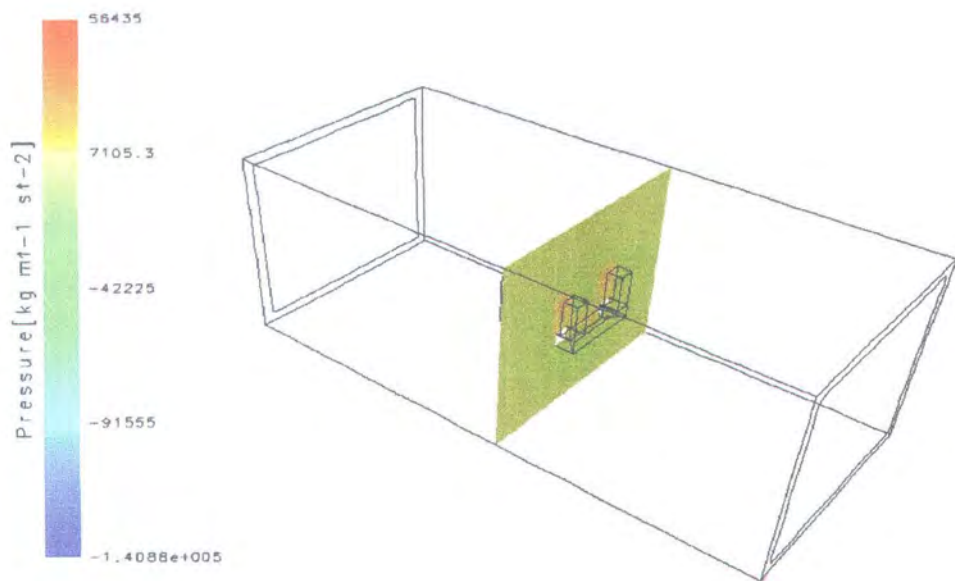
CFX

Gambar.10.1.b. Pressure Arah 0° & 90° Potongan Vertical (x = 12.825 m)



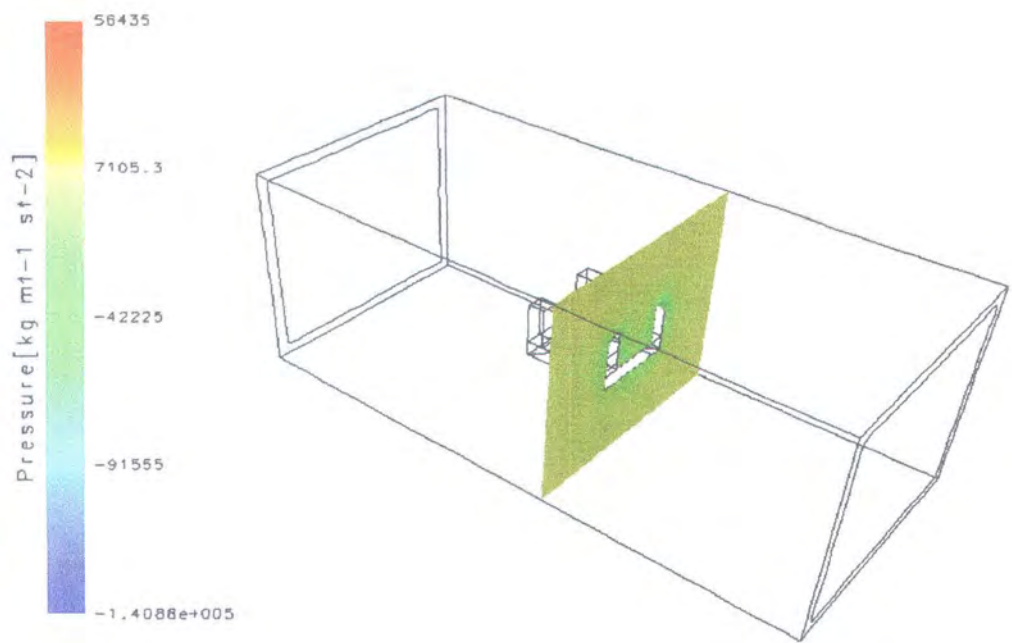
CFX

Gambar.10.1.c. Pressure Arah 0° & 90° Potongan Vertical (x = 25.65 m)



CFX

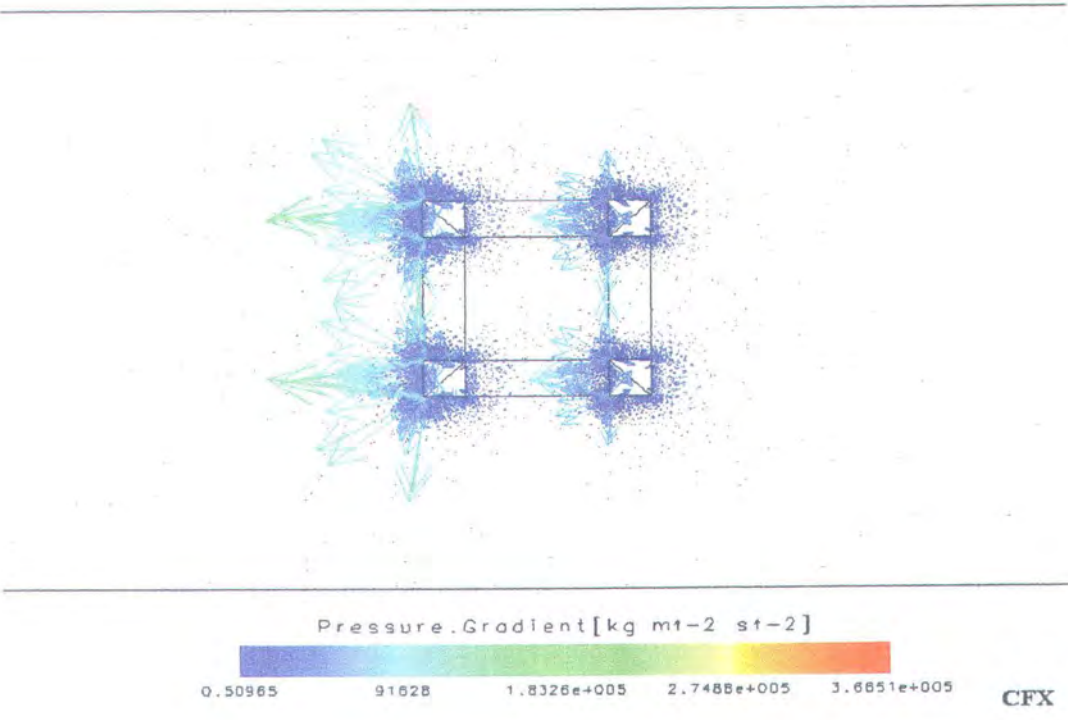
Gambar.10.1.d. Pressure Arah 0° & 90° Potongan Vertical (x = 38.475 m)



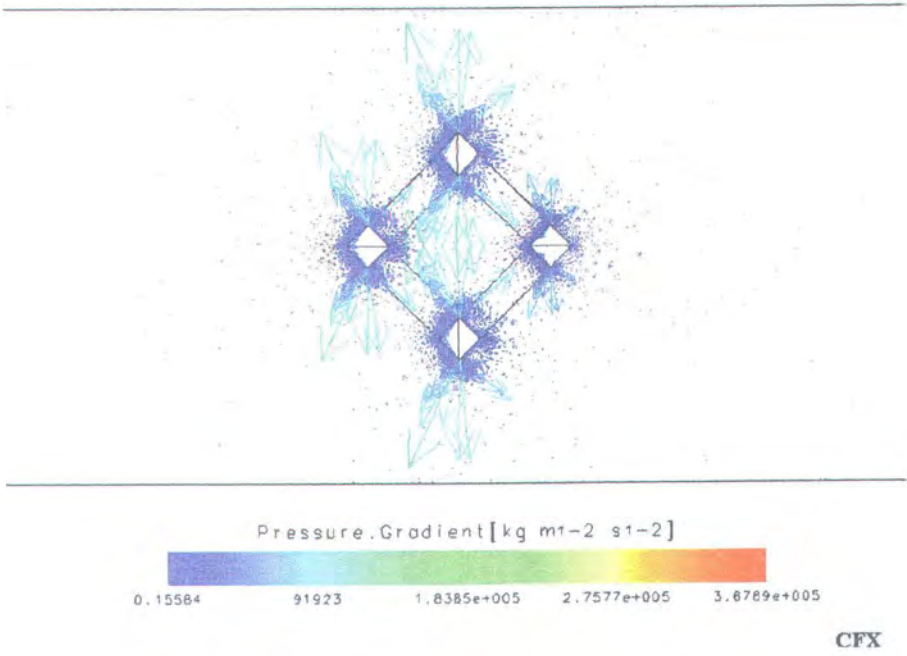
CFX

Gambar.10.1.e. Pressure Arah 0° & 90° Potongan Vertical ($x = 51.3 \text{ m}$)

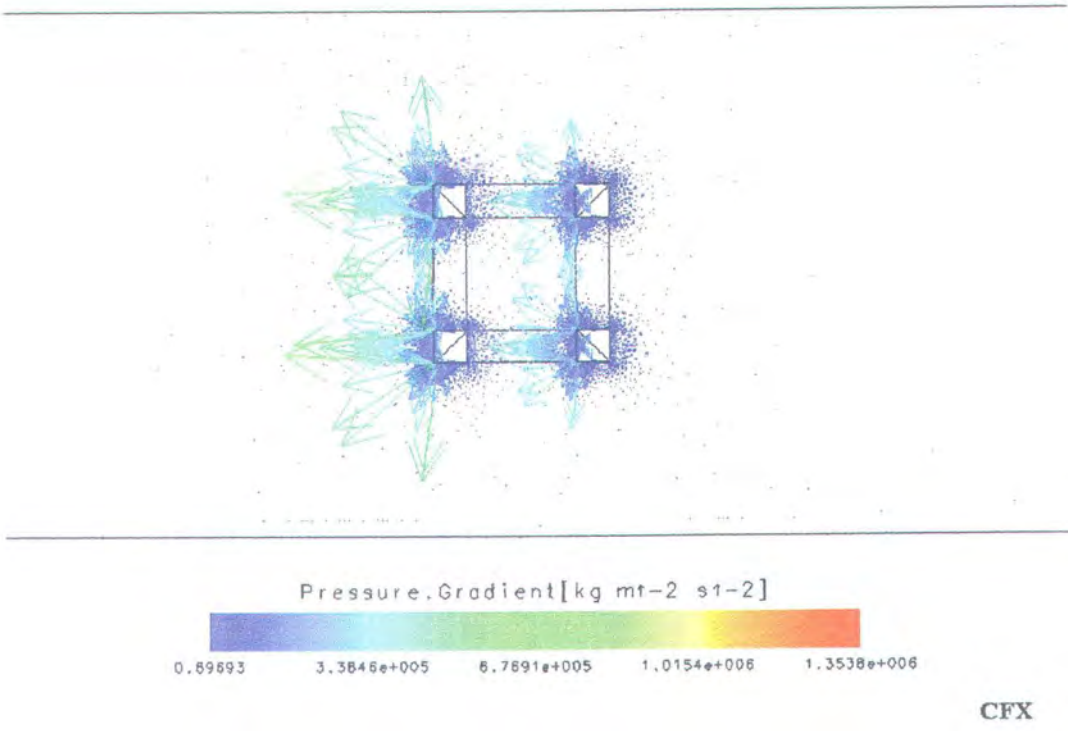
LAMPIRAN 11
CONTOH VISUALISASI PRESSURE GRADIENT



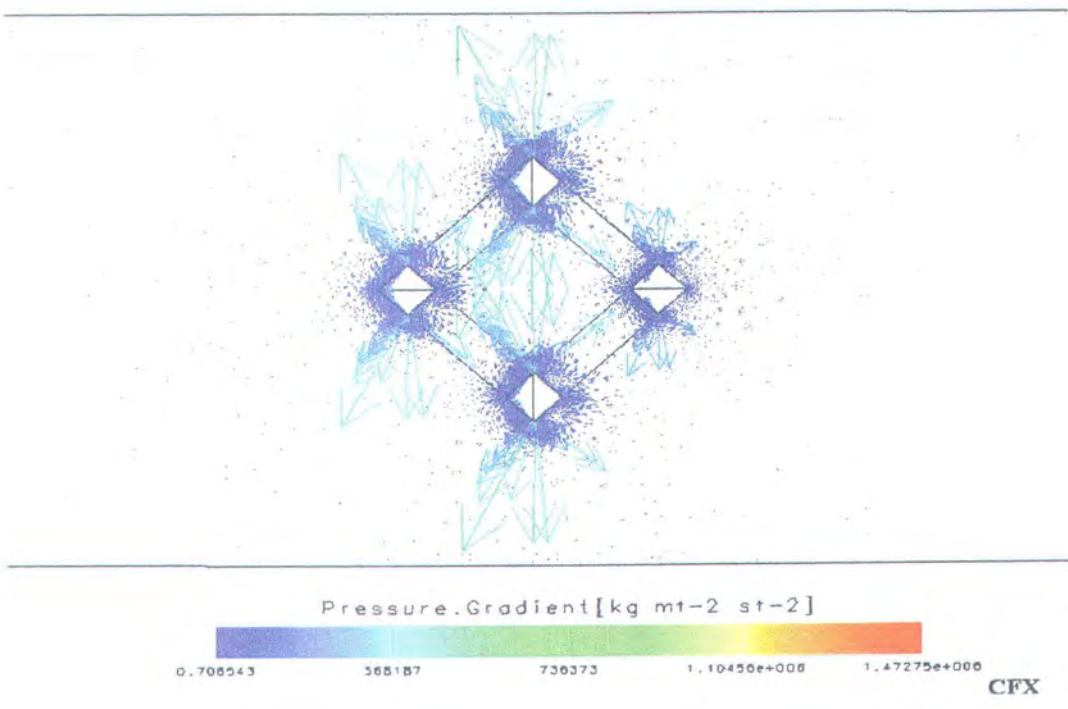
Gambar.11.1.a. Pressure Gradient Pada KC 5 Arah 0° & 90°



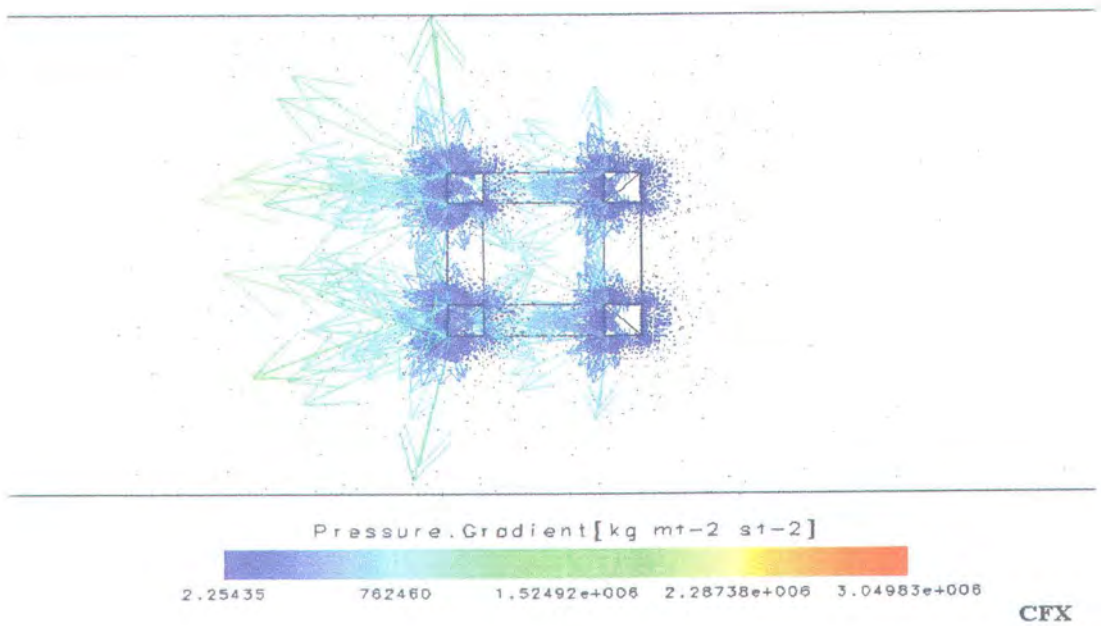
Gambar.11.1.b. Pressure Gradient Pada KC 5 Arah 45°



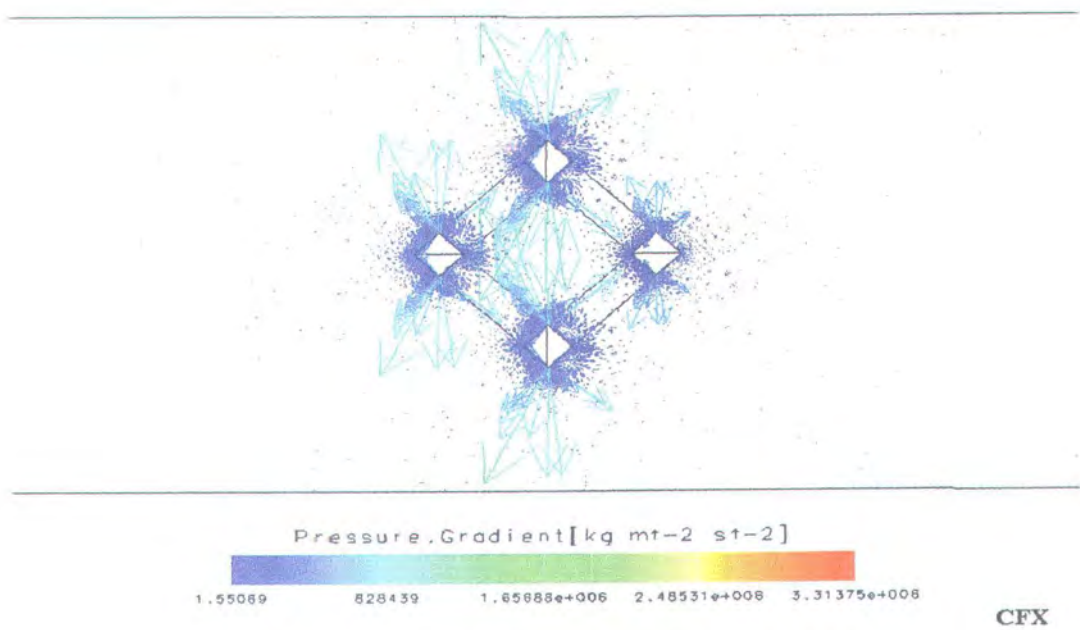
Gambar.11.2.a. Pressure Gradient Pada KC 10 Arah 0° & 90°



Gambar.11.2.a. Pressure Gradient Pada KC 10 Arah 45°

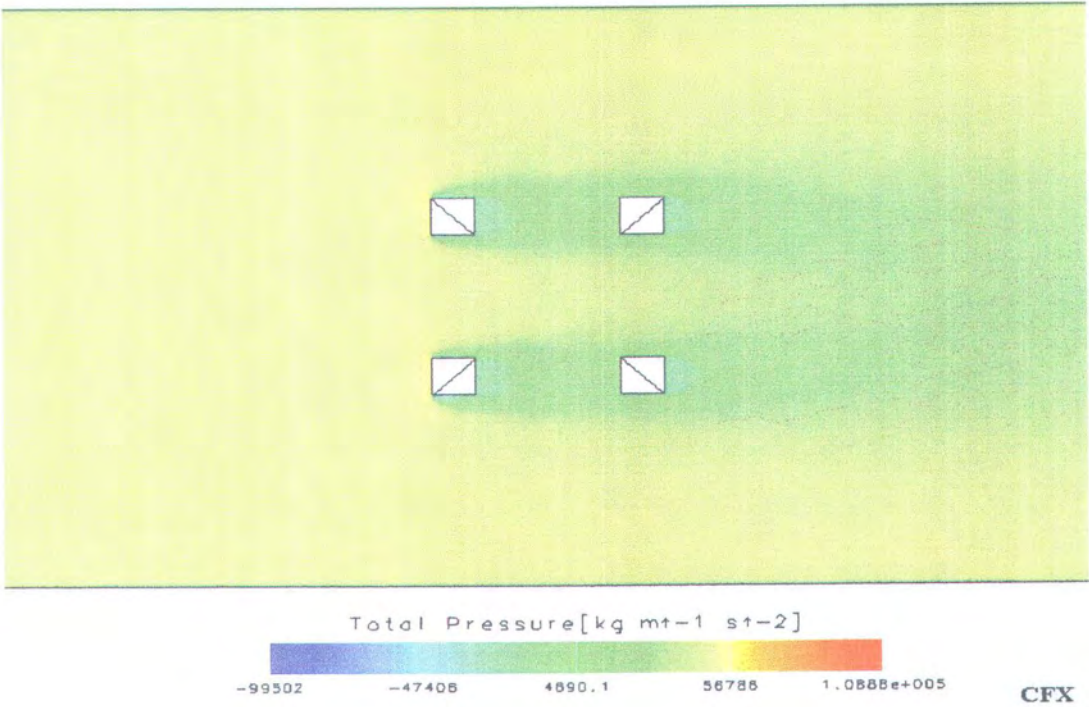


Gambar.11.3.a. Pressure Gradient Pada KC 15 Arah 0° & 90°

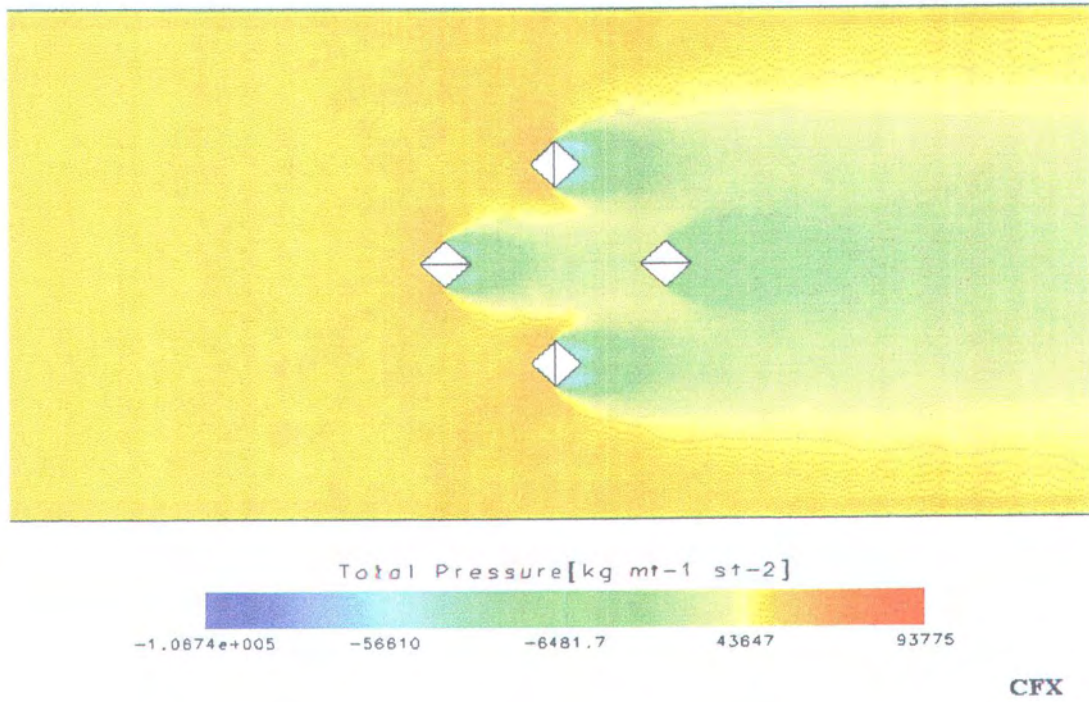


Gambar.11.3.a. Pressure Gradient Pada KC 15 Arah 45°

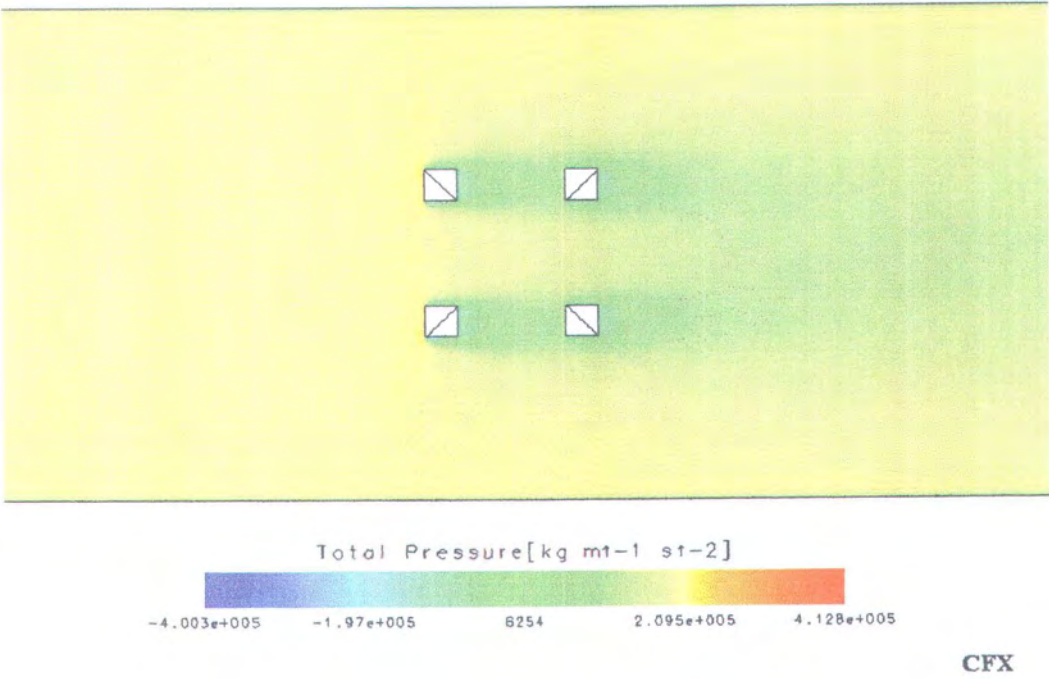
LAMPIRAN 12
CONTOH VISUALISASI TOTAL PRESSURE



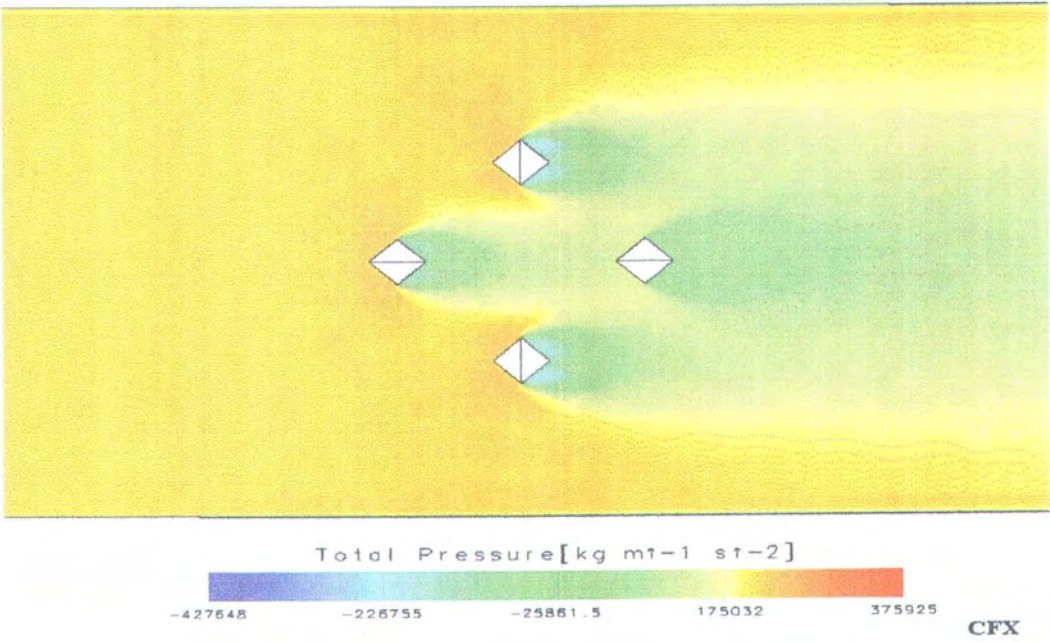
Gambar 12.1.a. Visual Total Pressure KC 5 Arah 0° & 90° (2 D)



Gambar 12.1.b. Visual Total Pressure KC 5 Arah 45° (2 D)

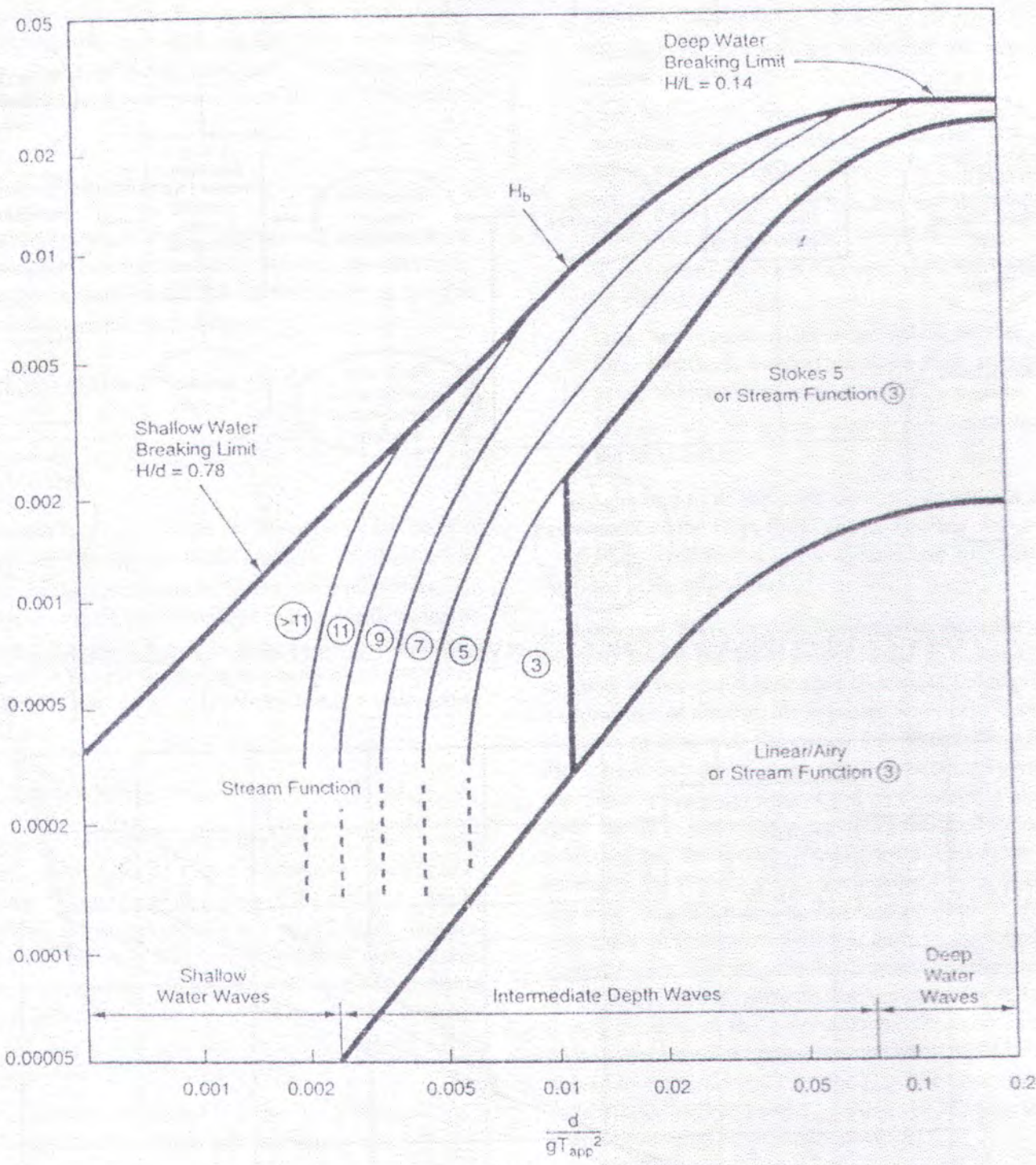


Gambar 12.2.a. Visual Total Pressure KC 10 Arah 0° & 90° (2 D)



Gambar 12.2.b. Visual Total Pressure KC 10 Arah 45° (2 D)

LAMPIRAN 13
GRAFIK REGION OF VALIDITY



H/gT_{app}^2 : Dimensionless wave steepness
 d/gT_{app}^2 : Dimensionless relative depth
 H : Wave height
 H_b : Breaking wave height

d : Mean water depth
 T_{app} : Wave period
 g : Acceleration of gravity

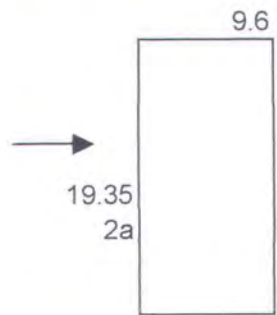


LAMPIRAN 14
KOEFISIEN MASSA TAMBAH DAN INERSIA
(C_d & C_m)

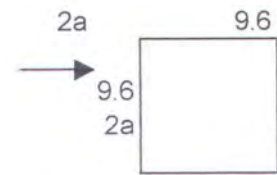
Added Mass Kolom (surge dan heave)

| | | | |
|-------|-------|-----|------|
| L | 36.26 | rho | 1025 |
| l | 9.6 | | |
| p | 9.6 | | |
| draft | 28.95 | | |

Added Mass Kolom



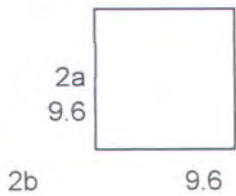
| | |
|-----|----------------|
| a | 9.675 |
| a/b | 1.0078125 |
| k1 | 1.21116279 |
| ma | 3504688.62 kg |
| | 3504.68862 ton |



| | |
|-----|----------------|
| a | 4.8 |
| a/b | 1 |
| k1 | 1.51 |
| ma | 2167774.63 kg |
| | 2167.77463 ton |

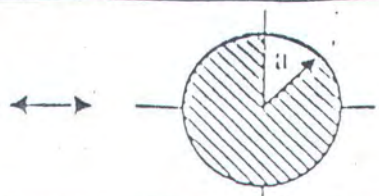
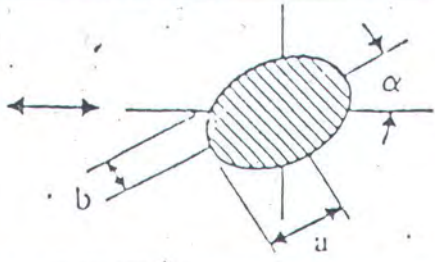
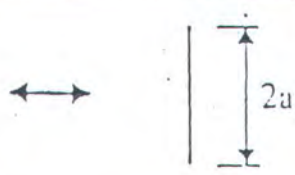
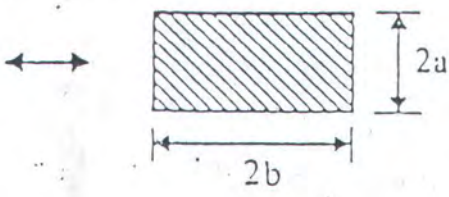
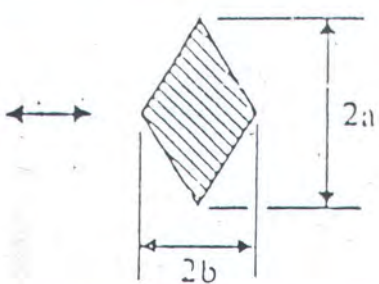
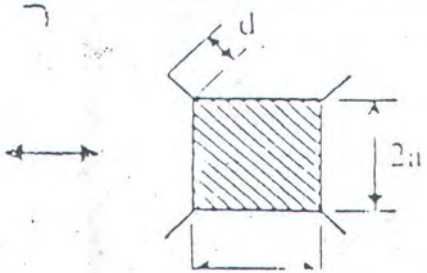
Added Mass Ponton

| | |
|---|------|
| p | 32.1 |
| l | 9.6 |
| t | 9.6 |


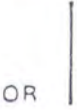
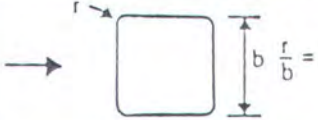
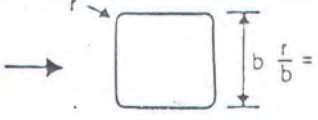




| | |
|-----|----------|
| a | 4.8 |
| a/b | 1 |
| k1 | 1.51 |
| ma | 1075485 |
| | 1075.485 |

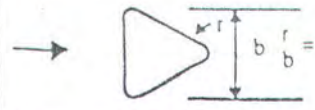
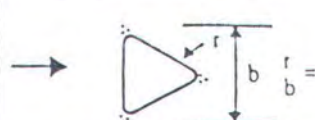



Tabel 1 Massa tambah menurut DnV

| Cross Sectional Shape of Infinite Cylinder | Added mass of entrained liquid per unit length (ρ is water density) M_{am} | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|
| <p>Circular Section</p>  | $\rho \pi a^2$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Elliptic Section</p>  | $\rho \pi (b^2 \cos^2 \alpha + a^2 \sin^2 \alpha)$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Flat Plate</p>  | $\rho \pi a^2$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Rectangular Section</p>  | $K_1 \rho \pi a^2$ <table border="1" data-bbox="1014 982 1358 1299"> <thead> <tr> <th>a/b</th><th>K_1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.1</td><td>2.23</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1.98</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1.70</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>1.51</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>1.36</td></tr> <tr><td>5.0</td><td>1.21</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>1.14</td></tr> </tbody> </table> | a/b | K_1 | 0.1 | 2.23 | 0.2 | 1.98 | 0.5 | 1.70 | 1.0 | 1.51 | 2.0 | 1.36 | 5.0 | 1.21 | 10.0 | 1.14 |
| a/b | K_1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.1 | 2.23 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.2 | 1.98 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 1.70 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 1.51 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.0 | 1.36 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.0 | 1.21 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.0 | 1.14 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Lozenge Section</p>  | $K_2 \rho \pi a^2$ <table border="1" data-bbox="1014 1386 1358 1605"> <thead> <tr> <th>a/b</th><th>K_2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.2</td><td>0.61</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.76</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.85</td></tr> </tbody> </table> | a/b | K_2 | 0.2 | 0.61 | 0.5 | 0.67 | 1.0 | 0.76 | 2.0 | 0.85 | | | | | | |
| a/b | K_2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.2 | 0.61 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 0.67 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 0.76 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.0 | 0.85 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Square Section with Corner Projections</p>  | $K_3 \rho \pi a^2$ <table border="1" data-bbox="1014 1725 1358 1911"> <thead> <tr> <th>d/a</th><th>K_3</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.05</td><td>1.61</td></tr> <tr><td>0.10</td><td>1.72</td></tr> <tr><td>0.25</td><td>2.19</td></tr> </tbody> </table> | d/a | K_3 | 0.05 | 1.61 | 0.10 | 1.72 | 0.25 | 2.19 | | | | | | | | |
| d/a | K_3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.05 | 1.61 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.10 | 1.72 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.25 | 2.19 | | | | | | | | | | | | | | | | |

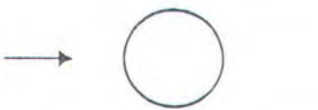


Tabel 6 Koefisien drag (C_D) menurut Delany dan Sorensen (1953) dan koefisien inersia (C_m) menurut Saunders (1957)

| Section shape | C_D |
|--|-------|
|  OR  | 2.0 |
|  | 0.6 |
|  | 0.5 |
|  | 2.0 |
|  | 1.5 |



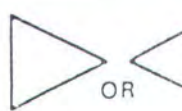

Delany and Sorensen, 1953

| | |
|--|-----|
|  | 1.9 |
|  | 1.3 |
|  | 1.3 |
|  | 1.3 |
|  | 0.5 |

Inertia coefficients for common structural forms

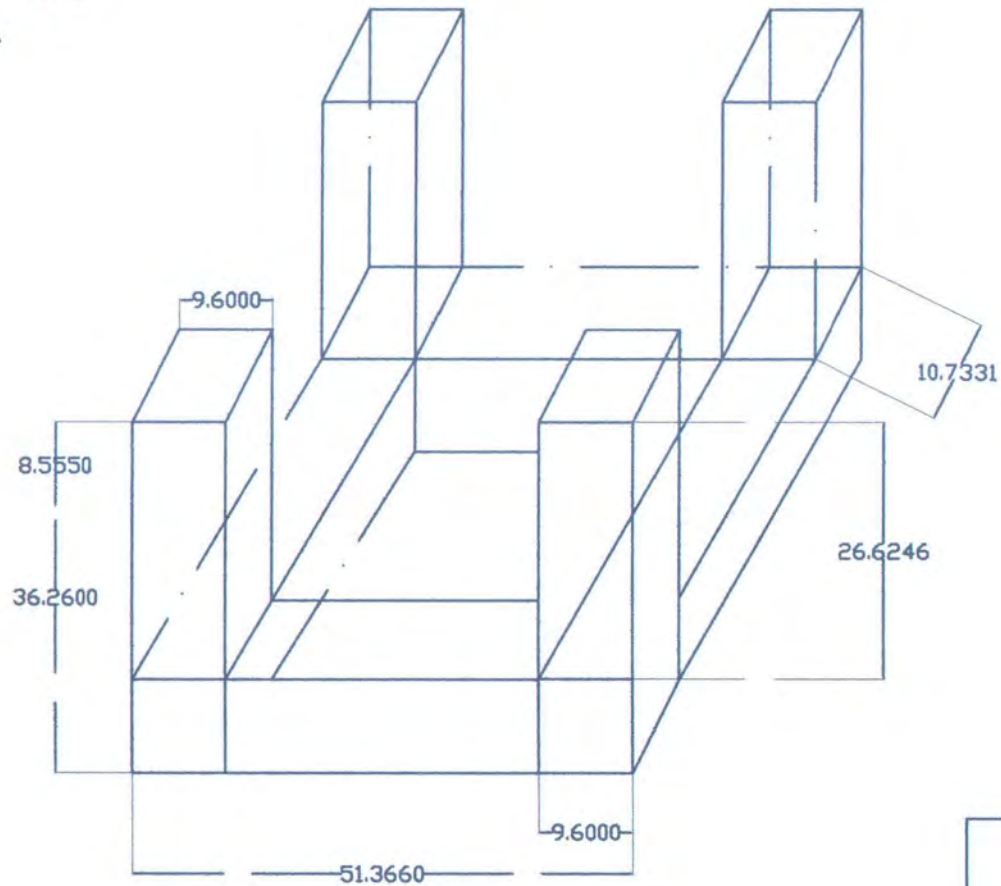
| Section shape | C_m |
|---|-------|
|  | 2.0 |
|  | 2.5 |
|  | 2.5 |

Saunders, 1957

| | |
|--|-----|
|  | 1.6 |
|  OR  | 2.3 |
|  | 2.2 |

LAMPIRAN 15
DATA PLATFORM TLP & DATA LINGKUNGAN

EAST



Platform TLP - Pandangan Depan

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

PLATFORM TLP WEST SEND

DIGAMBAR :
M.DEDY IRAWAN

DIPERIKSA :
Ir. RUDY W. & Dr. PAULUS I.

TYPE :
PLATFORM TLP
PANDANGAN DEPAN

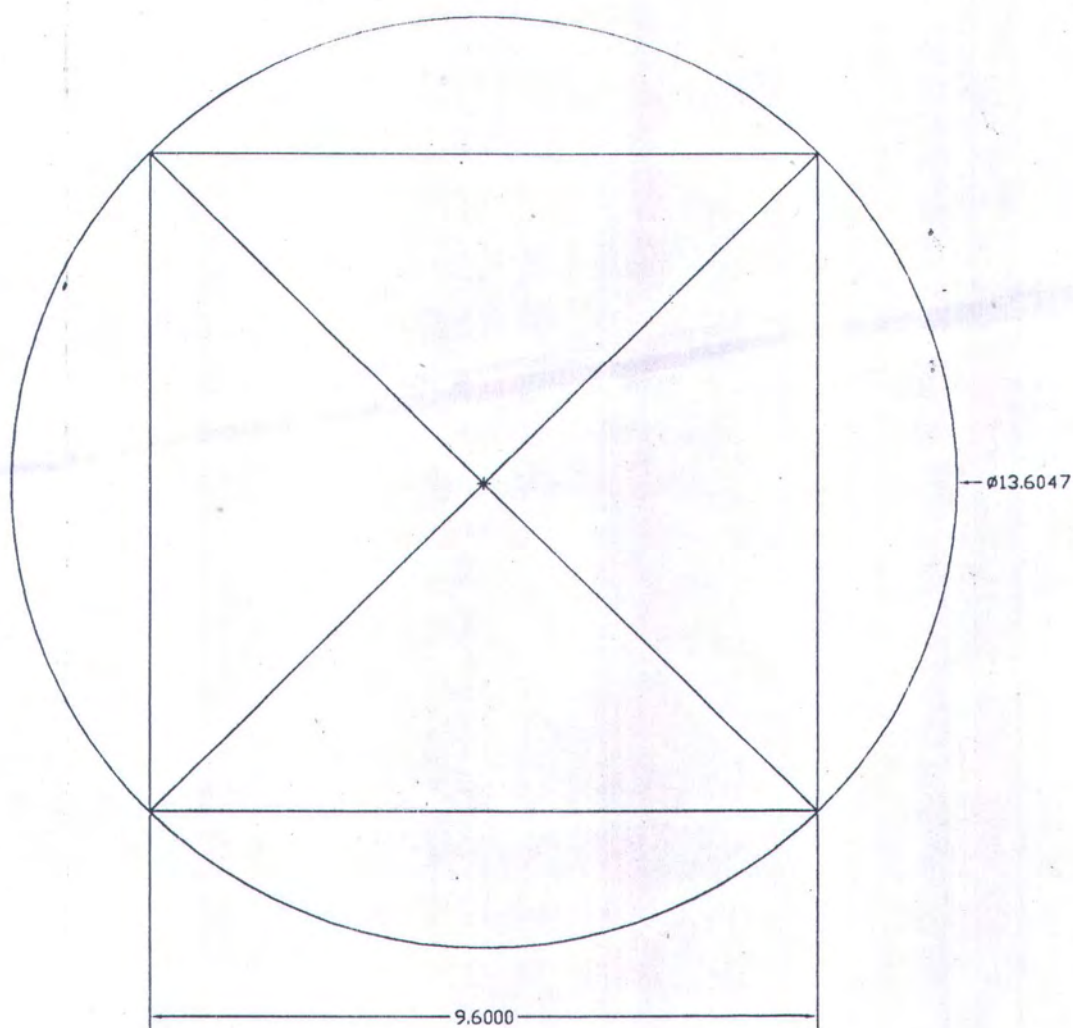
Skala 1 : 100

Satuan : Meter

NO : TUGAS AKHIR

UKURAN : A4

DIAMETER EQUIVALEN SILINDER



* DATA PERAIRAN SELAT MAKASSAR *

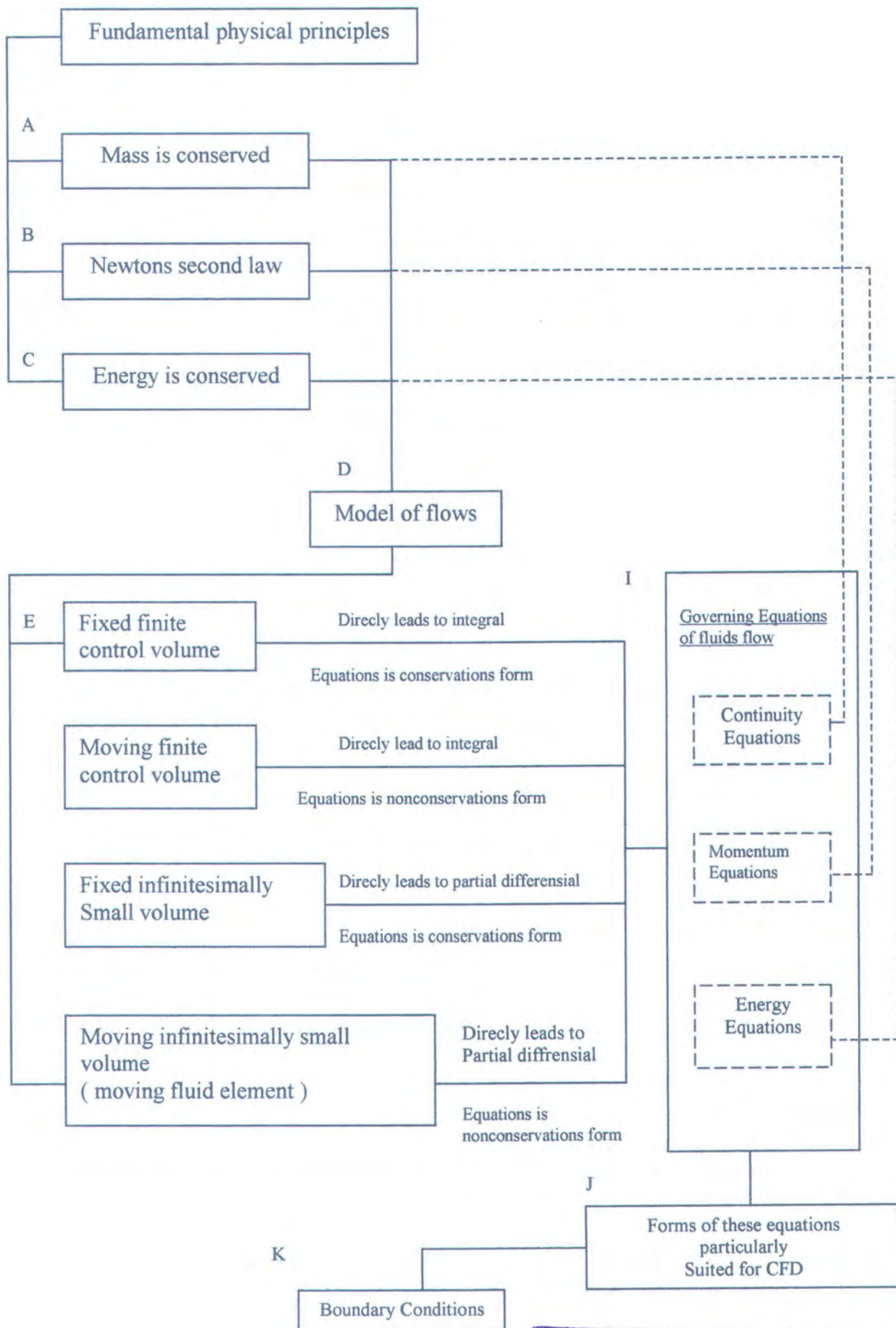
| Design Env. Cases | Dengan adanya Platform (with rig) | | | | Tidak ada Platform (No rig) | | | | | |
|---|-----------------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| | 10-year design storm | | 1-year operating storm | | 100-year design storm | | 10-year operating storm | | 1-year operating storm | |
| | Design extreme | | Normal operating | | Design extreme | | One tendon removal | | Normal operating | |
| Wave spectrum | JONSWAP | | JONSWAP | | JONSWAP | | JONSWAP | | JONSWAP | |
| Significant wave height, Hs (m) | 2.682 | | 2.012 | | 3.322 | | 2.682 | | 2.012 | |
| Spectral peak period, Tp (sec) | 8.1 | | 7.2 | | 8.8 | | 8.1 | | 7.2 | |
| Maximum wave height (m) | 4.968 | | 3.749 | | 6.157 | | 4.968 | | 3.749 | |
| Maximum crest height (m) | 2.987 | | 2.256 | | 3.688 | | 2.987 | | 2.256 | |
| Highest design water level (m) | +1.219 | | +1.219 | | +1.554 | | +1.219 | | +1.219 | |
| Lowest design water level (m) | -1.219 | | -1.219 | | -1.219 | | -1.219 | | -1.219 | |
| Subsidence (m) | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | |
| Current Profile (wind driven & Tidal driven) | Depth. (m) | velocity (m/sec) | Depth. (m) | velocity (m/sec) | Depth. (m) | velocity (m/sec) | Depth. (m) | velocity (m/sec) | Depth. (m) | velocity (m/sec) |
| | 0 | 0.668 | 0 | 0.619 | 0 | 0.719 | 0 | 0.668 | 0 | 0.619 |
| | -15.24 | 0.573 | -15.24 | 0.530 | -15.24 | 0.619 | -15.24 | 0.573 | -15.24 | 0.530 |
| | -30.48 | 0.527 | -30.48 | 0.488 | -30.48 | 0.567 | -30.48 | 0.527 | -30.48 | 0.488 |
| | -76.2 | 0.479 | -76.2 | 0.442 | -76.2 | 0.515 | -76.2 | 0.479 | -76.2 | 0.442 |
| | -152.4 | 0.430 | -152.4 | 0.396 | -152.4 | 0.463 | -152.4 | 0.430 | -152.4 | 0.396 |
| | -304.8 | 0.381 | -304.8 | 0.354 | -304.8 | 0.411 | -304.8 | 0.381 | -304.8 | 0.354 |
| | -381 | 0.335 | -381 | 0.308 | -381 | 0.360 | -381 | 0.335 | -381 | 0.308 |
| | -457.2 | 0.287 | -457.2 | 0.265 | -457.2 | 0.308 | -457.2 | 0.287 | -457.2 | 0.265 |
| | -533.4 | 0.238 | -533.4 | 0.219 | -533.4 | 0.256 | -533.4 | 0.238 | -533.4 | 0.219 |
| -609.6 | 0.155 | -609.6 | 0.155 | -609.6 | 0.155 | -609.6 | 0.155 | -609.6 | 0.155 | |
| Wind (mph) | | | | | | | | | | |
| 1-hour @ +30' elevation | 27.1 | | 27.1 | | 31.4 | | 27.1 | | 27.1 | |
| 1-minute @ +30' elevation | 33.8 | | 27.0 | | 39.1 | | 33.8 | | 27.0 | |
| 1-secont @ +30' elevation | 41.0 | | 32.8 | | 47.5 | | 41.0 | | 32.8 | |

KONSEP DASAR COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Semua CFD, dalam bentuk satu atau bentuk yang lainnya didasarkan pada *fundamental governing equations of fluid dynamics*-persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. Ketiga persyaratan matematis *fundamental physical principles* pada semua *fluid dynamics* didasarkan pada :

1. *Mass is conserved*
2. Hukum Newtons II, $F = ma$
3. *Energy is conserved*

Semua *fluid dynamics* didasarkan pada ketiga *fundamental physical principles* yang ada pada gambar 1. Prinsip *physical* itu dipakai untuk aliran pada model, pemakaian ini hasil dalam persamaan dimana persyaratan matematis prinsip fisik itu ada, yang dinamakan persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Masing perbedaan model aliran secara langsung dihasilkan pada persyaratan matematis yang ada pada persamaan *governing*, beberapa bentuk *conservations*, dan bentuk *nonconservations*. Setelah persamaan kontinuitas, momentum, dan energi diperoleh, bagian itu dipakai dalam CFD. Akhirnya boundary conditions dan persyaratan matematis yang tepat akan dikembangkan. Persamaan governing harus sesuai dengan *boundary conditions* yang akan dipakai. *Boundary conditions* disini untuk aliran inviscid dan viscous. Untuk lebih jelasnya tentang *fundamental physical principles of CFD* ada pada gambar 1.

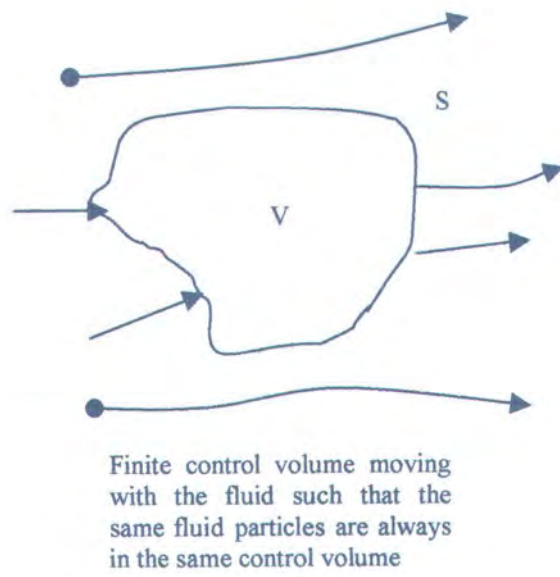
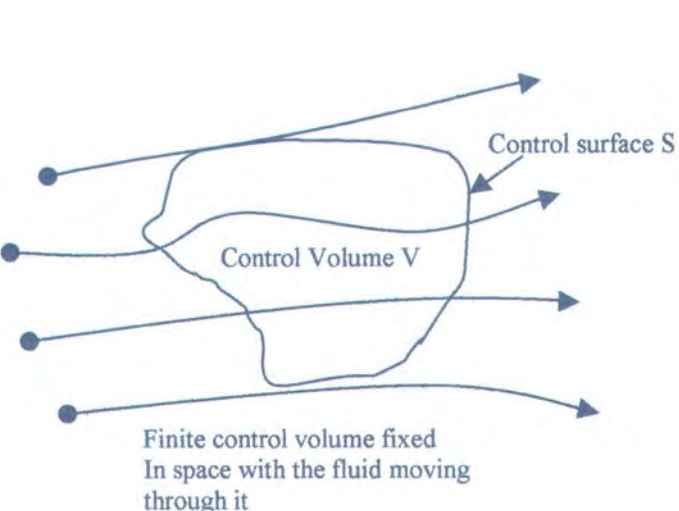


Gambar 1
Konsep Dasar CFD

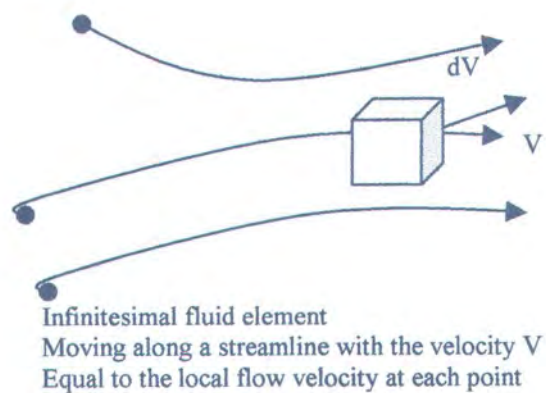
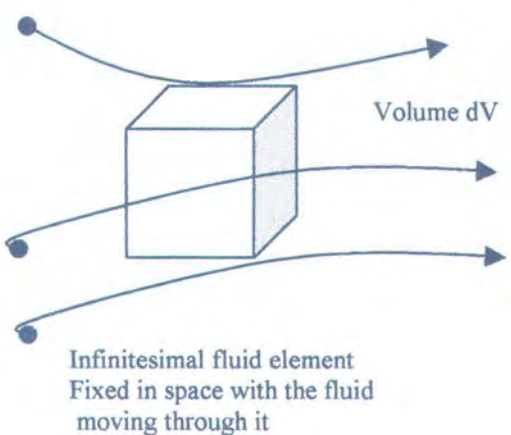


Finite Control Volume

Volume ini didefinisikan sebuah *control volume* (V); sebuah *control surface* S didefinisikan sebagai sebuah *surface* yang tertutup yang merupakan bagian dari volume. *Control volume* mungkin *fixed* dalam ruangan dengan fluida yang bergerak melewatinya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.a. Sebagai alternatif, *control volume* mungkin bergerak dengan fluida seperti partikel fluida yang sama yang berada didalamnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.b. Di lain kasus, *control volume* bagian yang besar, bagian *finite* dalam aliran. Prinsip *fundamental physical* yang dipakai dalam fluida *control volume* dan fluida yang melewati *control surface*. Kemudian, masuk didalamnya terlihat pada satu aliran, dengan model *control volume* yang diperhatikan hanya pada bagian bagian *finite* dalam volume tersebut. Persamaan aliran fluida akan secara langsung diperoleh dari *fundamental physical principles* pada *finite control volume* dengan mengintegalkannya. Bentuk integral ini dalam *governing equations* dapat dimanipulasi secara tidak langsung ke *partial differensial equations*. Persamaan yang diperoleh dari *finite control volume* yang di *fixed* dalam ruangan yang diintegalkan atau dalam bentuk *partial differensial*, dinamakan bentuk *conservations* dari *governing equations*. Persamaan yang diperoleh dari *finite control volume* yang bergerak dengan fluida, dalam integral atau bentuk *partial differensial* dinamakan *nonconservations* dari *governing equations*.



Gambar 2.a.
Pendekatan Finite Control Volume



Gambar 2.b.
Pendekatan infinitesimal fluid element

